



# Краткое содержание

<b>Введение</b> .....	35
<b>Благодарности и адреса для связи</b> .....	40
<b>Урок 1. ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО С MATLAB</b> .....	41
<b>Урок 2. ЗНАКОМСТВО С ИНТЕРФЕЙСОМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ</b> .....	91
<b>Урок 3. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МАТЕМАТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ</b> .....	151
<b>Урок 4. ОПЕРАЦИИ С ВЕКТОРАМИ И МАТРИЦАМИ</b> .....	193
<b>Урок 5. ТИПЫ ДАННЫХ – МАССИВЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА</b> .....	233
<b>Урок 6. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОБЫЧНОЙ ГРАФИКИ</b> .....	277
<b>Урок 7. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СПЕЦИАЛЬНОЙ ГРАФИКИ</b> .....	341

---

<b>Урок 8. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ .....</b>	<b>383</b>
<b>Урок 9. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ .....</b>	<b>441</b>
<b>Урок 10. РАБОТА СО СТРОКАМИ, ФАЙЛАМИ И ЗВУКАМИ .....</b>	<b>493</b>
<b>Урок 11. ТИПОВЫЕ СРЕДСТВА ПРОГРАММИРОВАНИЯ .....</b>	<b>531</b>
<b>Урок 12. ВИЗУАЛЬНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ GUI .....</b>	<b>591</b>
<b>Урок 13. ОБЗОР РАСШИРЕНИЙ МАТЛАВ .....</b>	<b>659</b>
<b>Урок 14. СТЫКОВКА МАТЛАВ С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ .....</b>	<b>717</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>743</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>747</b>

# Содержание

<b>Введение</b> .....	35
<b>Благодарности и адреса для связи</b> .....	40
<b>Урок 1. Первое знакомство с MATLAB</b> .....	41
1.1. Назначение и особенности системы MATLAB ...	42
1.1.1. Начальные сведения о матрицах .....	42
1.1.2. Назначение матричной системы MATLAB .....	43
1.1.3. Системные требования к установке .....	44
1.1.4. Инсталляция системы MATLAB 7 + Simulink 6 .....	45
1.1.5. Файловая система MATLAB .....	45
1.2. Начало работы с MATLAB .....	46
1.2.1. Запуск MATLAB и работа в режиме диалога .....	46
1.2.2. Понятие о сессии работы с системой MATLAB .....	47
1.2.3. Новый и старый облики системы MATLAB .....	48
1.2.4. Операции строчного редактирования .....	49
1.2.5. Команды управления окном .....	49
1.3. Простые вычисления в MATLAB .....	50
1.3.1. MATLAB в роли мощного научного калькулятора .....	50
1.3.2. Форма вывода и перенос строки в сессии .....	53
1.3.3. Запуск примеров применения MATLAB из командной строки .....	54
1.4. Основные объекты MATLAB .....	55

---

1.4.1. Понятие о математическом выражении .....	55
1.4.2. Действительные и комплексные числа .....	55
1.4.3. Форматы чисел .....	56
1.4.4. Константы и системные переменные .....	57
1.4.5. Текстовые комментарии в программах .....	58
1.4.6. Переменные и присваивание им значений .....	58
1.4.7. Уничтожение определений переменных .....	59
1.4.8. Операторы и встроенные функции MATLAB .....	60
1.4.9. Применение оператора : (двоеточие) .....	62
1.4.10. Функции пользователя .....	63
1.4.11. Сообщения об ошибках и исправление ошибок .....	64
<b>1.5. Формирование векторов и матриц .....</b>	<b>66</b>
1.5.1. Задания векторов и матриц и доступ к их элементам .....	66
1.5.2. Задание векторов и матриц с комплексными элементами .....	67
1.5.3. Понятие о матричных операциях и магические матрицы .....	68
1.5.4. Конкатенация (объединение) матриц .....	69
1.5.5. Удаление столбцов и строк матриц .....	70
<b>1.6. Операции с рабочей областью, текстом сессии и редактором m-файлов .....</b>	<b>70</b>
1.6.1. Дефрагментация рабочей области .....	70
1.6.2. Сохранение рабочей области сессии .....	71
1.6.3. Ведение дневника .....	71
1.6.4. Загрузка рабочей области сессии .....	72
1.6.5. Работа с редактором m-файлов .....	73

---

1.6.6. Завершение вычислений и работы с системой .....	73
1.7. Интерактивная справка из командной строки .....	74
1.7.1. Вызов списка разделов интерактивной справки .....	74
1.7.2. Справка по конкретному объекту .....	75
1.7.3. Справка по группе объектов .....	76
1.7.4. Справка по ключевому слову .....	77
1.7.5. Дополнительные справочные команды .....	77
1.8. Работа с демонстрационными примерами с командной строки .....	78
1.8.1. Вызов списка демонстрационных примеров .....	78
1.8.2. Пример – вывод изображения поверхности .....	79
1.8.3. Что больше – $e^{\pi i}$ или $\pi^i e$ ? .....	80
1.8.4. Встроенные фигуры .....	81
1.8.5. Просмотр текстов примеров и m-файлов .....	81
1.9. Знакомство с двумерной графикой MATLAB .....	82
1.9.1. Особенности двумерной графики MATLAB .....	82
1.9.2. Графики функций одной переменной .....	83
1.9.3. Графики ряда функций .....	84
1.9.4. Графическая функция <code>fplot</code> .....	85
1.10. Знакомство с трехмерной графикой MATLAB .....	86
1.10.1. Построение трехмерных графиков .....	86
1.10.2. Вращение графиков мышью .....	87
1.10.3. Контекстное меню графиков .....	88

---

<b>Урок 2. Знакомство с интерфейсом пользователя .....</b>	<b>91</b>
2.1. Интерфейс основного окна MATLAB .....	92
2.1.1. Средства панели инструментов .....	92
2.1.2. Браузер рабочей области .....	93
2.1.3. Команды просмотра рабочей области who и whos .....	95
2.1.4. Браузер файловой структуры .....	96
2.2. Работа с меню .....	96
2.2.1. Команды, операции и параметры .....	96
2.2.2. Меню системы MATLAB .....	97
2.2.3. Меню File .....	97
2.2.4. Установка путей доступа файловой системы .....	98
2.2.5. Настройка элементов интерфейса .....	99
2.2.6. Меню Edit – средства редактирования документов .....	99
2.2.7. Интерфейс по умолчанию .....	100
2.3. Основы редактирования и отладки m-файлов ...	100
2.3.1. Интерфейс редактора/отладчика m-файлов .....	100
2.3.2. Цветовые выделения и синтаксический контроль ..	102
2.3.3. Понятие о файлах-сценариях и файлах-функциях ..	102
2.3.4. Панель инструментов редактора и отладчика .....	103
2.4. Новинки графического интерфейса MATLAB .....	104
2.4.1. Новая позиция меню Graphics .....	104
2.4.2. Работа с окном 2D-графики MATLAB .....	104
2.4.3. Работа с редактором графики MATLAB .....	105
2.4.4. Построение графиков из их каталога .....	108

---

2.4.5. Некоторые другие особенности применения редактора графики .....	111
2.4.6. Новый вид окна MATLAB .....	114
2.5. Интерфейс графических окон .....	115
2.5.1. Обзор интерфейсов графических окон .....	115
2.5.2. Панель инструментов камеры обзора .....	117
2.5.3. Меню инструментов Tools .....	117
2.5.4. Вращение графиков мышью .....	117
2.5.5. Операции вставки .....	118
2.6. Основы форматирования графиков .....	118
2.6.1. Форматирование двумерных графиков .....	118
2.6.2. Форматирование линий графиков .....	118
2.6.3. Работа с инструментом Plot Tool .....	120
2.6.4. Работа с редактором графики MATLAB .....	120
2.6.5. Форматирование линий графиков и маркеров опорных точек .....	121
2.6.6. Форматирование линий и маркеров для графика нескольких функций .....	123
2.6.7. Форматирование осей графиков .....	124
2.6.8. Позиция Tools меню окна графики .....	124
2.6.9. Нанесение надписей и стрелок прямо на график ...	125
2.6.10. Применение графической «лупы» .....	126
2.6.11. Построение легенды и шкалы цветов на графике ...	127
2.6.12. Работа с камерой 3D-графики .....	128
2.7. Работа с Мастером импорта данных .....	130
2.7.1. Открытие окна Мастера импорта данных .....	130
2.7.2. Информация об импортируемых бинарных данных .....	132



2.7.3. Импорт данных mat-формата .....	133
2.7.4. Импорт данных текстового формата .....	133
2.7.5. Об экспорте данных .....	135
<b>2.8. Работа со справкой и демонстрационными примерами .....</b>	<b>135</b>
2.8.1. Запуск справочной системы Help Desk .....	136
2.8.2. Справка по функциям и полнотекстовый обзор .....	137
2.8.3. Работа с демонстрационными примерами .....	139
<b>2.9. Интерфейс и новые возможности MATLAB R2007 .....</b>	<b>140</b>
2.9.1. Интерфейс MATLAB R2007a по умолчанию .....	140
2.9.2. Упрощенный интерфейс MATLAB R2007a .....	141
2.9.3. Редактор/отладчик программ и файлов MATLAB R2007a .....	143
2.9.4. Справка MATLAB R2007a .....	144
2.9.5. Новые возможности MATLAB R2007a,b .....	144
2.9.6. Интерфейс и справка MATLAB R2007b .....	145
2.9.7. Общая настройка MATLAB R2007b .....	146
2.9.8. Производительность реализаций MATLAB R2007a,b .....	148

## **Урок 3. Программные средства математических вычислений .....**

151

<b>3.1. Вычислительные и логические операции .....</b>	<b>152</b>
3.1.1. Арифметические матричные операторы и функции ...	152
3.1.2. Операции отношения .....	153
3.1.3. Логические операции и операторы .....	155

---

3.2. Специальные символы .....	156
3.2.1. Специальные символы .....	156
3.2.2. Системные переменные и константы .....	159
3.3. Работа со специальными данными .....	161
3.3.1. Поразрядная обработка данных .....	161
3.3.2. Обработка множеств .....	162
3.3.3. Работа с функциями времени и даты .....	165
3.4. Встроенные элементарные функции .....	168
3.4.1. Алгебраические и арифметические функции .....	168
3.4.2. Тригонометрические и обратные тригонометрические функции .....	173
3.4.3. Вычисление гиперболических и обратных гиперболических функций .....	177
3.5. Числовые функции .....	180
3.5.1. Округление и смена знака чисел .....	180
3.5.2. Операции с комплексными числами .....	181
3.6. Специальные математические функции .....	182
3.6.1. Функции Эйри .....	182
3.6.2. Функции Бесселя .....	183
3.6.3. Бета-функция и ее варианты .....	186
3.6.4. Эллиптические функции и интегралы .....	187
3.6.5. Функции ошибки .....	188
3.6.6. Интегральная показательная функция .....	189
3.6.7. Гамма-функция и ее варианты .....	189
3.6.8. Ортогональные полиномы Лежандра .....	190
3.6.9. Полигамма-функция $\psi$ .....	191

<b>Урок 4. Операции с векторами и матрицами .....</b>	<b>193</b>
4.1. Создание матриц с заданными свойствами ....	194
4.1.1. Создание единичной матрицы .....	194
4.1.2. Создание матрицы с единичными элементами .....	194
4.1.3. Создание матрицы с нулевыми элементами .....	195
4.1.4. Создание линейного массива равноотстоящих точек .....	195
4.1.5. Создание вектора равноотстоящих в логарифмическом масштабе точек .....	196
4.1.6. Создание массивов со случайными элементами ...	196
4.1.7. Создание массивов с логическими значениями элементов .....	198
4.2. Операции с матрицами .....	199
4.2.1. Конкатенация матриц .....	199
4.2.2. Создание матриц с заданной диагональю .....	200
4.2.3. Перестановки элементов матриц .....	201
4.2.4. Вычисление произведений .....	201
4.2.5. Суммирование элементов массивов .....	203
4.2.6. Функции формирования матриц .....	204
4.2.7. Поворот матриц .....	205
4.2.8. Выделение треугольных частей матриц .....	205
4.2.9. Операции с пустыми матрицами .....	206
4.3. Создание и вычисление специальных матриц .....	207
4.3.1. Сопровождающие матрицы .....	207
4.3.2. Тестовые матрицы .....	207

---

4.3.3. Матрицы Адамара .....	208
4.3.4. Матрицы Ганкеля .....	208
4.3.5. Матрицы Гильберта .....	209
4.3.6. Матрицы магического квадрата .....	210
4.3.7. Матрицы Паскаля .....	210
4.3.8. Матрицы Россера .....	211
4.3.9. Матрицы Теплица .....	212
4.3.10. Матрица Вандермонда .....	212
4.3.11. Матрицы Уилкинсона .....	213
4.4. Матричные операции линейной алгебры .....	213
4.4.1. Матричные функции .....	213
4.4.2. Вычисление нормы и чисел обусловленности матрицы .....	215
4.4.3. Определитель и ранг матрицы .....	217
4.4.4. Определение нормы вектора .....	217
4.4.5. Определение ортонормированного базиса матрицы .....	218
4.4.6. Функции приведения матрицы к треугольной форме .....	219
4.4.7. Определение угла между двумя подпространствами .....	219
4.4.8. Вычисление следа матрицы .....	220
4.4.9. Разложение Холецкого .....	220
4.4.10. Обращение матриц – функции $\text{inv}$ , $\text{pinv}$ .....	221
4.4.11. LU- и QR-разложение .....	222
4.4.12. Вычисление собственных значений и сингулярных чисел .....	225
4.4.13. Приведение матриц к форме Шура и Хессенберга .....	227

- 4.5. О скорости выполнения матричных операций ... 231
  - 4.5.1. О повышении скорости вычислений в старых версиях MATLAB ..... 231
  - 4.5.2. Ситуация со скоростью вычислений в MATLAB 7.\* ... 231

## **Урок 5. Типы данных – массивы специального вида ..... 233**

- 5.1. Разреженные матрицы ..... 234
  - 5.1.1. Роль и назначение разреженных матриц ..... 234
  - 5.1.2. Элементарные разреженные матрицы ..... 234
  - 5.1.3. Преобразование разреженных матриц ..... 237
  - 5.1.4. Работа с ненулевыми элементами разреженных матриц ..... 240
  - 5.1.5. Функция sru визуализации разреженных матриц .. 241
  - 5.1.6. Алгоритмы упорядочения ..... 242
- 5.2. Применение разреженных матриц ..... 245
  - 5.2.1. Смежные матрицы и графы ..... 245
  - 5.2.2. Пример построения фигуры busky ..... 246
  - 5.2.3. Оцифровка узлов графа ..... 246
  - 5.2.4. Применение разреженных матриц в аэродинамике ..... 247
  - 5.2.5. Визуализация разреженных матриц, возведенных в степень ..... 249
  - 5.2.6. Демонстрационные примеры на визуализацию разреженных матриц ..... 250
- 5.3. Функции разреженных матриц ..... 250
  - 5.3.1. Норма, число обусловленности и ранг разреженной матрицы ..... 250

---

5.3.2. Функции разложения Холецкого для разреженных матриц .....	252
5.3.3. LU-разложение разреженных матриц .....	253
5.3.4. Собственные значения и сингулярные числа разреженных матриц .....	255
5.4. Многомерные массивы .....	255
5.4.1. Понятие о многомерных массивах .....	255
5.4.2. Применение оператора : в многомерных массивах ....	257
5.4.3. Удаление размерности у многомерного массива ....	258
5.4.4. Доступ к отдельному элементу многомерного массива .....	258
5.4.5. Создание страниц, заполненных константами и случайными числами .....	259
5.4.6. Функции ones, zeros, rand и randn .....	259
5.4.7. Объединение многомерных массивов .....	260
5.4.8. Функция преобразования размеров многомерного массива reshape .....	261
5.5. Работа с размерностями массивов .....	262
5.5.1. Вычисление числа размерностей массива .....	262
5.5.2. Перестановки размерностей массивов .....	262
5.5.3. Сдвиг размерностей массивов .....	263
5.5.4. Удаление единичных размерностей .....	264
5.6. Тип данных – структуры .....	264
5.6.1. Структура записей .....	264
5.6.2. Создание структур и доступ к их компонентам .....	265
5.6.3. Функция создания структур .....	266
5.6.4. Проверка имен полей и структур .....	266
5.7. Функции полей структур .....	267

5.7.1. Функция возврата имен полей .....	267
5.7.2. Функция возврата содержимого полей структуры ...	267
5.7.3. Функция присваивания значений полям .....	268
5.7.4. Удаление полей .....	268
5.7.5. Применение массивов структур .....	268
<b>5.8. Массивы ячеек .....</b>	<b>269</b>
5.8.1. Создание массивов ячеек .....	269
5.8.2. Создание ячеек с помощью функции cell .....	270
5.8.3. Визуализация массивов ячеек .....	271
5.8.4. Создание массива символьных ячеек из массива строк .....	271
5.8.5. Присваивание с помощью функции deal .....	272
5.8.6. Тестирование имен массивов ячеек .....	273
5.8.7. Функции преобразования типов данных .....	273
<b>5.9. Многомерные массивы ячеек .....</b>	<b>274</b>
5.9.1. Создание многомерных массивов ячеек .....	274
5.9.2. Вложенные массивы ячеек .....	275

## **Урок 6. Программные средства обычной графики .....**

277

<b>6.1. Графики функций и данных .....</b>	<b>278</b>
6.1.1. Построение графиков отрезками прямых .....	278
6.1.2. Графики в логарифмическом масштабе .....	282
6.1.3. Графики в полулогарифмическом масштабе .....	283
6.1.4. Столбцовые диаграммы .....	284
6.1.5. Гистограммы .....	285

---

6.1.6. Лестничные графики .....	286
6.1.7. Графики с зонами погрешности .....	287
6.1.8. Графики дискретных отсчетов функции .....	288
<b>6.2. Визуализация в полярной системе координат .....</b>	<b>289</b>
6.2.1. Графики в полярной системе координат .....	289
6.2.2. Угловые гистограммы .....	290
<b>6.3. Визуализация векторов .....</b>	<b>291</b>
6.3.1. Графики векторов .....	291
6.3.2. График проекций векторов на плоскость .....	292
<b>6.4. Основы трехмерной графики .....</b>	<b>293</b>
6.4.1. Контурные графики .....	293
6.4.2. Создание массивов данных для трехмерной графики .....	294
6.4.3. Графики поля градиентов .....	296
6.4.4. Графики поверхностей .....	297
6.4.5. Сетчатые 3D-графики с окраской .....	298
6.4.6. Сетчатые 3D-графики с проекциями .....	301
6.4.7. Построение поверхности столбцами .....	301
<b>6.5. Улучшенные средства визуализации 3D-графики .....</b>	<b>302</b>
6.5.1. Построение поверхности с окраской .....	302
6.5.2. Построение поверхности и ее проекции .....	305
6.5.3. Построение освещенной поверхности .....	306
6.5.4. Средства управления подсветкой и обзором фигур .....	307



6.5.5. Построение графиков функций трех переменных ..	308
6.5.6. График трехмерной слоеной поверхности .....	310
6.5.7. Трехмерные контурные графики .....	310
<b>6.6. Текстовое оформление графиков .....</b>	<b>312</b>
6.6.1. Установка титульной надписи .....	312
6.6.2. Установка осевых надписей .....	312
6.6.3. Ввод текста в любое место графика .....	312
6.6.4. Позиционирование текста с помощью мыши .....	315
<b>6.7. Форматирование графиков .....</b>	<b>316</b>
6.7.1. Вывод пояснений и легенды .....	316
6.7.2. Маркировка линий уровня на контурных графиках...	319
6.7.3. Управление свойствами осей графиков .....	319
6.7.4. Включение и выключение сетки .....	321
6.7.5. Наложение графиков друг на друга .....	322
6.7.6. Разбиение графического окна .....	324
6.7.7. Изменение масштаба графика .....	324
<b>6.8. Цветовая окраска графиков .....</b>	<b>327</b>
6.8.1. Установка палитры цветов .....	327
6.8.2. Установка соответствия между палитрой цветов и масштабом осей .....	328
6.8.3. Окраска поверхностей .....	328
6.8.4. Установка палитры псевдоцветов .....	329
6.8.5. Создание закрашенного многоугольника .....	330
6.8.6. Окраска плоских многоугольников .....	331
6.8.7. Вывод шкалы цветов .....	332
6.8.8. Цветные плоские круговые диаграммы .....	333

6.8.9. Окрашенные многоугольники в пространстве .....	334
6.8.10. Цветные объемные круговые диаграммы .....	335
6.8.11. Другие команды управления световыми эффектами .....	335
6.9. Другие возможности графики .....	336
6.9.1. Построение цилиндра .....	336
6.9.2. Построение сферы .....	337
6.9.3. 3D-графика с треугольными плоскостями .....	338

## **Урок 7. Программные средства**

### **специальной графики .....**

341

7.1. Анимационная графика .....	342
7.1.1. Движение точки на плоскости .....	342
7.1.2. Движение точки в пространстве .....	342
7.1.3. Основные средства анимации .....	344
7.1.4. Вращение фигуры – логотипа MATLAB .....	344
7.1.5. Волновые колебания мембраны .....	345
7.2. Основы дескрипторной графики .....	347
7.2.1. Объекты дескрипторной графики .....	347
7.2.2. Создание графического окна и управление им .....	347
7.2.3. Создание координатных осей и управление ими ...	348
7.2.4. Пример применения объекта дескрипторной графики .....	348
7.2.5. Дескрипторы объектов .....	348
7.2.6. Операции над графическими объектами .....	350
7.2.7. Свойства объектов – команда get .....	351
7.2.8. Изменение свойств объекта – команда set .....	352

---

7.2.9. Просмотр свойств .....	352
7.2.10. Примеры дескрипторной графики .....	353
7.2.11. Иерархия объектов дескрипторной графики .....	356
7.2.12. Справка по дескрипторной графике .....	357
7.3. Галерея трехмерной графики .....	357
7.3.1. Доступ к галерее .....	357
7.3.2. Примеры построения фигур из галереи .....	359
7.4. Графический интерфейс пользователя GUI ....	362
7.4.1. Основные команды для создания GUI .....	362
7.4.2. Простой пример создания объектов GUI .....	364
7.4.3. Примеры программирования GUI .....	365
7.4.4. Программирование анимации поверхности с разной скоростью .....	366
7.4.5. Программирование визуализации звукового сигнала .....	367
7.5. Графическая поддержка цвета .....	369
7.5.1. Цветовые системы и OpenGL .....	369
7.5.2. Управление прозрачностью графических объектов .....	370
7.5.3. Примеры построения изображений со свойствами прозрачности .....	370
7.6. Расширенная техника визуализации вычислений .....	372
7.6.1. Задание Path-объектов .....	372
7.6.2. Построение среза черепной коробки человека .....	373
7.6.3. Расширенная визуализация трехмерных объектов .....	375

7.6.4. Выделение части объема .....	375
7.6.5. Визуализация струи в пространстве .....	377
7.6.6. Визуализация электрических разрядов .....	378
7.6.7. Анимация явления подъема предметов вихрями ...	379
7.6.8. Применение «конусной» графики для визуализации струй.....	381

## **Урок 8. Программные средства численных методов .....**

383

8.1. Решение систем линейных уравнений (СЛУ) ....	384
8.1.1. Элементарные средства.....	384
8.1.2. Решение систем линейных уравнений с ограничениями .....	386
8.1.3. Решение систем линейных уравнений с комплексными элементами .....	387
8.2. Решение СЛУ с разреженными матрицами .....	388
8.2.1. Точное решение, метод наименьших квадратов и сопряженных градиентов .....	388
8.2.2. Двухнаправленный метод сопряженных градиентов ....	390
8.2.3. Устойчивый двухнаправленный метод .....	392
8.2.4. Метод сопряженных градиентов .....	392
8.2.5. Квадратичный метод сопряженных градиентов .....	393
8.2.6. Метод минимизации обобщенной невязки .....	393
8.2.7. Квазиминимизация невязки – функция $qmr$ .....	394
8.3. Вычисление корней функций .....	394
8.3.1. Вычисление корней функций одной переменной ...	394
8.3.2. Графическая иллюстрация поиска корней функций .....	395

---

8.3.3. Поиск корня с помощью функций <code>fsolve</code> и <code>solve</code> .....	396
8.3.4. Решение систем нелинейных уравнений .....	397
<b>8.4. Вычисление минимумов функций .....</b>	<b>398</b>
8.4.1. Минимизация функции одной переменной .....	398
8.4.2. Минимизация функций ряда переменных симплекс-методом .....	398
8.4.3. Минимизация тестовой функции Розенброка .....	400
8.4.4. Другие средства минимизации функций нескольких переменных .....	400
<b>8.5. Аппроксимация производных .....</b>	<b>403</b>
8.5.1. Аппроксимация лапласиана .....	403
8.5.2. Аппроксимация производных конечными разностями .....	404
8.5.3. Вычисление градиента функции .....	407
<b>8.6. Численное интегрирование .....</b>	<b>408</b>
8.6.1. Интегрирование методом трапеций .....	408
8.6.2. Интегрирование методом квадратур .....	409
8.6.3. Вычисления двойных и тройных интегралов .....	410
<b>8.7. Математические операции с полиномами .....</b>	<b>411</b>
8.7.1. Определение полиномов .....	411
8.7.2. Умножение и деление полиномов .....	412
8.7.3. Вычисление полиномов .....	412
8.7.4. Вычисление корней полинома .....	414
8.7.5. Вычисление производной полинома .....	415
8.7.6. Решение полиномиальных матричных уравнений .....	415
8.7.7. Разложение полиномов на простые дроби .....	416

8.8. Обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ) .....	416
8.8.1. Определение ОДУ .....	416
8.8.2. Решатели ОДУ .....	417
8.8.3. Использование решателей систем ОДУ .....	419
8.9. Примеры решения дифференциальных уравнений .....	422
8.9.1. Пример на движение брошенного вверх тела .....	422
8.9.2. Примеры решения системы ОДУ Ван-дер-Поля ....	423
8.9.3. Вычисление реакции системы второго порядка на заданное воздействие .....	426
8.9.4. Решение уравнений Лотки–Вольтерра двумя методами .....	427
8.9.5. Решение системы Лотки–Вольтерра с запаздывающим аргументом .....	429
8.9.6. Решение системы дифференциальных уравнений с двухсторонними граничными условиями .....	431
8.9.7. Моделирование странного аттрактора Лоренца .....	432
8.9.8. Решение жесткой алгебраически-дифференциальной системы уравнений .....	433
8.9.9. Доступ к примерам на решение дифференциальных уравнений .....	435
8.9.10. Решения дифференциальных уравнений в частных производных .....	437

## **Урок 9. Программные средства обработки данных .....**

441

9.1. Обработка данных массивов .....	442
--------------------------------------	-----

---

9.1.1. Нахождение максимального и минимального элементов массива .....	442
9.1.2. Сортировка элементов массива .....	443
9.1.3. Нахождение средних и срединных значений .....	445
9.1.4. Вычисление стандартного отклонения .....	447
9.1.5. Вычисление коэффициентов корреляции .....	447
9.1.6. Вычисление матрицы ковариации .....	448
9.2. Геометрический анализ данных .....	449
9.2.1. Триангуляция Делоне .....	449
9.2.2. Вычисление выпуклой оболочки .....	450
9.2.3. Вычисление площади полигона .....	451
9.2.4. Анализ попадания точек внутрь полигона .....	452
9.2.5. Построение диаграммы Вороного .....	453
9.3. Преобразование Фурье .....	454
9.3.1. Основные определения .....	454
9.3.2. Одномерное прямое быстрое преобразование Фурье .....	455
9.3.3. Многомерное прямое преобразование Фурье .....	457
9.3.4. Перегруппировка массивов .....	458
9.3.5. Одномерное быстрое обратное преобразование Фурье .....	459
9.4. Свертка и дискретная фильтрация .....	460
9.4.1. Свертка прямая и обратная .....	460
9.4.2. Свертка двумерных массивов .....	461
9.4.3. Дискретная одномерная фильтрация .....	461
9.4.4. Двумерная фильтрация .....	464
9.4.5. Коррекции фазовых углов .....	464

---

9.5. Интерполяция и аппроксимация данных .....	465
9.5.1. Полиномиальная регрессия .....	465
9.5.2. Фурье-интерполяция периодических функций .....	467
9.5.3. Интерполяция на неравномерной сетке .....	467
9.5.4. Одномерная табличная интерполяция .....	469
9.5.5. Двумерная табличная интерполяция .....	470
9.5.6. Трехмерная табличная интерполяция .....	472
9.5.7. N-мерная табличная интерполяция .....	473
9.5.8. Интерполяция кубическим сплайном .....	474
9.6. Специальные виды интерполяции .....	475
9.6.1. Сравнение видов двумерной интерполяции поверхности .....	475
9.6.2. Сравнение видов интерполяции при контурных графиках .....	478
9.6.3. Пример многомерной интерполяции .....	479
9.6.4. 3D-геометрический анализ и интерполяция .....	479
9.6.5. Другие представления сложных фигур .....	482
9.7. Обработка данных в графическом окне .....	484
9.7.1. Доступ к средствам обработки данных в графическом окне .....	484
9.7.2. Полиномиальная регрессия для табличных данных ...	485
9.7.3. Оценка погрешности аппроксимации .....	487
9.7.4. Расширенные возможности окна приближения кривых .....	488
9.7.5. Сплайновая и эрмитовая интерполяции в графическом окне .....	490
9.7.6. Графическая визуализация разложения в ряд Тейлора .....	492



---

<b>Урок 10. Работа со строками, файлами и звуками</b> .....	493
10.1. Обработка строковых данных .....	494
10.1.1. Основные функции обработки строк .....	494
10.1.2. Операции над строками .....	496
10.1.3. Преобразование символов и строк .....	500
10.1.4. Функции преобразования систем счисления .....	502
10.1.5. Вычисление строковых выражений .....	503
10.2. Работа с файлами .....	504
10.2.1. Открытие и закрытие файлов .....	505
10.2.2. Операции с двоичными файлами .....	507
10.2.3. Операции над форматированными файлами .....	510
10.2.4. Позиционирование файла .....	514
10.2.5. Специализированные файлы .....	517
10.3. Работа с файлами изображений .....	518
10.3.1. Информация о графическом файле – imfinfo .....	518
10.3.2. Чтение изображения из файла – imread .....	520
10.3.3. Запись изображения в файл – imwrite .....	522
10.4. Работа со звуковыми данными .....	526
10.4.1. Функции для работы со звуками .....	526
10.4.2. Функции звука в MATLAB 6.1/6.5 .....	526
10.4.3. Демонстрация возможностей работы со звуком ...	527
<b>Урок 11. Типовые средства программирования</b> .....	531
11.1. Основные понятия программирования .....	532

---

11.1.1. Назначение языка программирования MATLAB ....	532
11.1.2. Основные средства программирования .....	533
11.1.3. Основные типы данных .....	533
11.1.4. Виды программирования .....	535
11.1.5. Двойственность операторов, команд и функций ...	536
11.1.6. Некоторые ограничения .....	537
11.1.7. Исполнение программных объектов .....	538
11.2. М-файлы сценариев и функций .....	538
11.2.1. Структура и свойства файлов-сценариев .....	538
11.2.2. Структура М-файла-функции .....	540
11.2.3. Статус переменных в функциях .....	541
11.2.4. Команда глобализации переменных global .....	543
11.2.5. Использование подфункций .....	543
11.2.6. Частные каталоги .....	544
11.3. Обработка ошибок и комментарии .....	545
11.3.1. Вывод сообщений об ошибках .....	545
11.3.2. Функция lasterr и обработка ошибок .....	546
11.3.3. Комментарии .....	547
11.4. Функции с переменным числом аргументов .....	547
11.4.1. Функции подсчета числа аргументов .....	547
11.4.2. Переменные varargin и varargout .....	549
11.5. Особенности работы с m-файлами .....	550
11.5.1. Выполнение m-файлов-функций .....	550
11.5.2. Создание Р-кодов .....	551
11.6. Управляющие структуры .....	552

---

11.6.1. Диалоговый ввод .....	552
11.6.2. Условный оператор if...elseif...else...end .....	553
11.6.3. Циклы типа for...end .....	554
11.6.4. Циклы типа while...end .....	556
11.6.5. Конструкция переключателя switch...case...end ...	558
11.6.6. Конструкция try...catch...end .....	559
11.6.7. Операторы break, continue и return .....	560
11.6.8. Пустые матрицы в структурах if и while .....	561
11.6.9. Создание паузы в вычислениях .....	561
<b>11.7. Основы объектно-ориентированного программирования .....</b>	<b>561</b>
11.7.1. Основные понятия .....	561
11.7.2. Классы объектов .....	562
11.7.3. Создание класса или объекта .....	563
11.7.4. Проверка принадлежности объекта к заданному классу .....	564
11.7.5. Другие функции объектно-ориентированного программирования .....	564
<b>11.8. Handle- и inline-функции .....</b>	<b>565</b>
11.8.1. Задание handle-функции .....	565
11.8.2. Вычисление и применение handle-функций .....	566
11.8.3. Inline-функции .....	566
11.8.4. Преобразования handle- и inline-функций .....	567
<b>11.9. Отладка программ .....</b>	<b>567</b>
11.9.1. Общие замечания по отладке m-файлов .....	567
11.9.2. Команды отладки программ .....	568
11.9.3. Вывод листинга m-файла с пронумерованными строками .....	568

---

11.9.4. Установка, удаление и просмотр точек прерывания .....	569
11.9.5. Управление исполнением m-файла .....	570
11.9.6. Просмотр рабочей области .....	570
11.9.7. Профилирование m-файлов .....	571
11.9.8. Создание итогового отчета .....	572
11.9.9. Построение диаграмм Парето .....	574
11.9.10. Работа с системой контроля версий .....	574
<b>11.10. Профилирование программ в MATLAB 7 .....</b>	<b>575</b>
11.10.1. Утилита профилирования программ Profiler и ее запуск .....	575
11.10.2. Пример профилирования программы .....	576
11.10.3. Профилирование избранных функций программы .....	577
11.10.4. Профилирование строк общего программного кода .....	577
<b>11.11. Общение MATLAB с операционной системой ..</b>	<b>579</b>
11.11.1. Работа с папками .....	579
11.11.2. Выполнение команд !, dos, unix и vms .....	580
11.11.3. Общение с Интернетом из командной строки ....	580
11.11.4. Некоторые другие команды .....	581
<b>11.12. Поддержка Java .....</b>	<b>582</b>
11.12.1. Информация о средствах поддержки Java .....	582
11.12.2. Java-объекты .....	582
11.12.3. Специфика применения Java-объектов .....	584
11.12.4. Java-массивы .....	586
<b>11.13. Компиляция MATLAB-программ .....</b>	<b>587</b>
11.13.1. Для чего нужна компиляция MATLAB-программ ....	587

11.13.2. Конфигурирование расширения MATLAB Compiler .....	587
11.13.3. Компиляция m-файла-функции .....	588
11.13.4. Исполнение откомпилированного файла .....	589

## **Урок 12. Визуальное программирование GUI .....**

591

12.1. Средства визуального программирования GUIDE .....	592
---	-----

12.1.1. Состав и назначение средств программирования GUIDE .....	592
--	-----

12.1.2. Открытие окна инструмента GUIDE .....	593
---	-----

12.1.3. Окно создания нового приложения с GUI .....	594
---	-----

12.1.4. Свойства объектов GUI .....	597
-------------------------------------	-----

12.1.5. Пример задания кнопки и работа с инспектором свойств объектов .....	600
---	-----

12.1.6. Вид всех компонентов и редактирование их свойств .....	602
--	-----

12.2. Работа с заготовками примеров .....	604
---	-----

12.2.1. Простой пример вычисления массы вещества .....	604
--	-----

12.2.2. Пример на построение графиков из списка .....	609
---	-----

12.3. Детальная работа с инструментом GUIDE .....	612
---	-----

12.3.1. Установка опций окна компонентов .....	612
--	-----

12.3.2. Работа с меню File .....	614
----------------------------------	-----

12.3.3. Ввод компонентов и их редактирование .....	615
--	-----

12.3.4. Средства обзора приложения .....	618
--	-----

12.3.5. Операции разметки объектов .....	619
--	-----

12.3.6. Операции позиции Tools меню .....	620
---	-----

---

12.3.7. Конструирование меню окна приложения с GUI ...	622
12.3.8. Конструирование контекстного меню окна приложения с GUI .....	629
12.3.9. Применение рамки и группы кнопок .....	634
12.3.10. Интерпретация программы приложения .....	639
12.3.11. Несколько советов по созданию приложений с GUI .....	641
<b>12.4. Стандартные диалоговые окна MATLAB .....</b>	<b>642</b>
12.4.1. Набор диалоговых окон .....	642
12.4.2. Справка по диалоговым окнам и их свойства .....	643
12.4.3. Работа с простыми диалоговыми окнами .....	644
12.4.4. Диалоговые окна множественного типа .....	645
12.4.5. Диалоговые окна файловых операций .....	647
12.4.6. Диалоговые окна установки цвета и шрифтов .....	649
12.4.7. Диалоговые окна параметров страницы и печати ....	650
12.4.8. Другие диалоговые окна .....	654
<b>Урок 13. Обзор расширений MATLAB .....</b>	<b>659</b>
13.1. Состав расширений MATLAB .....	660
13.1.1. Классификация расширений системы MATLAB+Simulink .....	660
13.1.2. Главный пакет расширения Simulink 5/6 .....	660
13.2. Примеры работы с Simulink .....	662
13.2.1. Пример моделирования системы Ван-дер-Поля ...	662
13.2.2. Nonlinear Control Design Blockset .....	663
13.2.3. Digital Signal Processing (DSP) Blockset .....	665
13.2.4. Пакет расширения Fixed-Point Blockset .....	667

---

13.2.5. Пакет расширения Stateflow .....	667
13.2.6. Пакет расширения SimPower System .....	668
13.2.7. Report Generator для MATLAB и Simulink .....	669
13.2.8. Real Time Windows Target и WorkShop .....	670
<b>13.3. Пакеты математических вычислений.....</b>	<b>670</b>
13.3.1. Symbolic Math Toolbox.....	671
13.3.2. NAG Foundation Toolbox .....	671
13.3.3. Spline Toolbox .....	672
13.3.4. Statistics Toolbox .....	673
13.3.5. Optimization Toolbox .....	674
13.3.6. Partial Differential Equations Toolbox .....	675
13.3.7. Fuzzy Logic Toolbox .....	677
13.3.8. Neural Networks Toolbox .....	678
<b>13.4. Пакеты анализа и синтеза систем управления ..</b>	<b>680</b>
13.4.1. Control System Toolbox .....	680
13.4.2. Robust Control Toolbox .....	682
13.4.3. Model Predictive Control Toolbox .....	684
13.4.4. Communications Toolbox.....	685
13.4.5. m-Analysis and Synthesis .....	685
13.4.6. Quantitative Feedback Theory Toolbox.....	686
13.4.7. LMI Control Toolbox .....	686
<b>13.5. Пакет идентификации систем .....</b>	<b>687</b>
<b>13.6. Пакеты для обработки сигналов и изображений .....</b>	<b>689</b>
13.6.1. Signal Processing Toolbox .....	689
13.6.2. Image Processing Toolbox .....	691
13.6.3. Wavelet Toolbox .....	695

---

13.7. Прочие пакеты прикладных программ .....	699
13.7.1. Financial Toolbox .....	699
13.7.2. Mapping Toolbox .....	700
13.7.3. Data Acquisition Toolbox и Instrument Control Toolbox .....	701
13.7.4. Database toolbox .....	703
13.7.5. Excel Link .....	703
13.7.6. Virtual Reality Toolbox.....	703
13.7.7. MATLAB Compiler .....	704
13.8. Пакеты расширения MATLAB 6.5 .....	704
13.8.1. Curve Fitting Toolbox .....	704
13.8.2. Instrument Control Toolbox .....	706
13.8.3. Developer's Kit for Texas Instruments DSP .....	707
13.8.4. Dials & Gauges Blockset .....	708
13.8.5. Mechanical System Blockset.....	708
13.9. Новейшие пакеты расширения MATLAB 7+Simulink 6 .....	709
13.9.1. Назначение и возможности пакета Bioinformatics Toolbox .....	709
13.9.2. Пакет расширения Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox .....	711
13.9.3. Пакет расширения Video and Image Processing Blockset .....	713

## **Урок 14. Стыковка MATLAB**

<b>с измерительными приборами .....</b>	<b>717</b>
---	------------

14.1. Работа измерительных приборов с системой MATLAB .....	718
--	-----



---

14.1.1. Современные измерительные приборы .....	718
14.1.2. Порты для подключения измерительных приборов к компьютеру .....	719
<b>14.2. Стыковка компьютера с цифровым осциллографом .....</b>	<b>721</b>
14.2.1. Современные цифровые осциллографы с USB-портом .....	721
14.2.2. Применение пакета расширения MATLAB – Instrument Control Toolbox .....	722
14.2.3. Идентификация осциллографа .....	723
14.2.4. MATLAB-программы для работы с цифровыми осциллографами .....	724
14.2.5. Спектральный анализ осциллограмм в MATLAB ...	728
14.2.6. Построение спектрограмм осциллограмм в MATLAB .....	732
<b>14.3. Управление генераторами произвольных сигналов от системы MATLAB .....</b>	<b>735</b>
14.3.1. От множества генераторов к одному генератору произвольных сигналов .....	735
14.3.2. Управление генераторами серии AFG3000 от системы MATLAB .....	736
<b>14.4. Применение MATLAB при совместной работе генератора и цифрового осциллографа ....</b>	<b>739</b>
<b>14.5. Встраивание MATLAB в осциллографы, построенные на основе платформы ПК .....</b>	<b>741</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>743</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>747</b>

# Введение

Среди бурно развивающихся систем компьютерной математики СКМ [1], в первую очередь ориентированных на численные расчеты, особо выделяется матричная математическая система MATLAB. Из-за большого числа поставляемых с системой пакетов расширения MATLAB (в новейшей реализации MATLAB R2007a,b их уже 82) эта система является и самой большой из СКМ, ориентированных на персональные компьютеры. Объем ее файлов уже превышает 3 Гб. Система фактически стала мировым стандартом в области современного математического и научно-технического программного обеспечения.

Эффективность MATLAB обусловлена прежде всего ее ориентацией на матричные вычисления [2, 3] с программной эмуляцией параллельных вычислений и упрощенными средствами задания циклов. Последние версии системы поддерживают 64-разрядные микропроцессоры и многоядерные микропроцессоры, например Intel Core 2 Duo и Quad, что обеспечивает высочайшие показатели по скорости вычислений и скорости математического имитационного моделирования.

В MATLAB удачно реализованы средства работы с многомерными массивами, большими и разреженными матрицами и многими типами данных. Система прошла многолетний путь развития от узко специализированного матричного программного модуля, используемого только на больших ЭВМ, до универсальной интегрированной СКМ, ориентированной на массовые персональные компьютеры класса IBM PC, AT и Macintosh, рабочие станции UNIX и даже суперкомпьютеры. MATLAB имеет мощные средства диалога, графики и *комплексной визуализации* вычислений.

Система MATLAB предлагается разработчиками (корпорация The MathWorks, Inc.) как лидирующий на рынке, в первую очередь на предприятиях военно-промышленного комплекса, в энергетике, в аэрокосмической отрасли и в автомобилестроении язык программирования *высокого уровня* для технических вычислений, расширяемый большим числом пакетов прикладных программ – *расширений*. Самым известным из них стало расширение Simulink, обеспечивающее блочное имитационное моделирование различных систем и устройств. Но и без пакетов расширения MATLAB представляет собой мощную операционную среду для выполнения огромного числа математических и научно-технических расчетов и вычислений и создания пользователями своих пакетов расширения и библиотек процедур и функций. Новые версии системы имеют встроенный компилятор и позволяют создавать исполняемые файлы.

Типовой комплекс MATLAB + Simulink (рис. 0.1) содержит инструментальные «ящики» Toolboxes с большим числом пакетов расширения MATLAB и Blocksets для расширения возможностей системы визуально-ориентированного блочного имитационного моделирования динамических систем Simulink. Они приобретаются избранно и отдельно от системы MATLAB + Simulink. В разработке пакетов расширения для MATLAB принимают участие многие научные школы мира и ве-

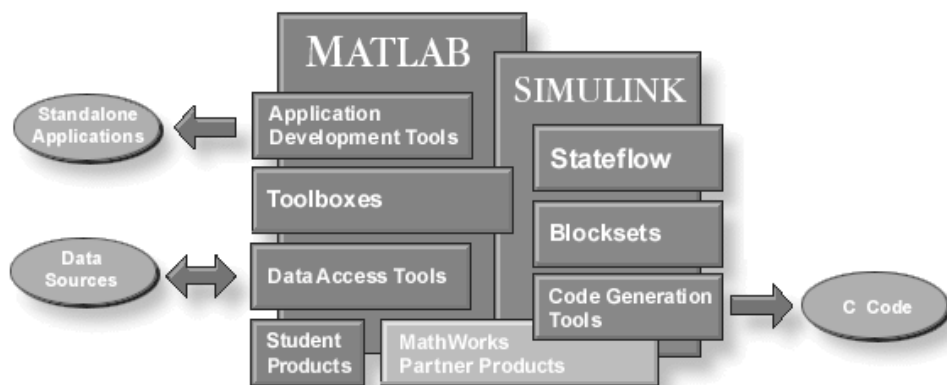


Рис. 0.1. Структура системы MATLAB + Simulink

дущие университеты. Многие пакеты охватывают крупные направления науки и техники, такие как оптимизация отклика нелинейных систем, моделирование устройств и систем механики и энергетики, обработка сигналов и изображений, вейвлеты, биоинформатика, генные алгоритмы, нечеткая логика, нейронные сети и т. д.

В России первой книгой по системе MATLAB стала небольшая книга автора [4], выпущенная еще в 1993 г. В последующие полтора десятка лет было опубликовано множество книг по различным версиям этой мощной и бурно развивающейся системы [5–49]. Так, только на Web-узле корпорации The MathWorks, Inc., разработавшей эту систему, указано уже более 1000 книг. Среди них есть и книги автора (рис. 0.2), подготовленные в рамках программы поддержки подготовки книг корпорации The MathWorks, Inc. (далее просто The MathWorks).

К сожалению, в России мало публикаций по новейшим версиям системы MATLAB и ее расширению Simulink. Лишь после 1997 г. появился ряд книг по системам MATLAB и отдельным пакетам расширения этой системы [4–43]. Из них следует особо отметить трехтомник автора [13–15] по версиям MATLAB 6.\* и пятитомник по MATLAB 6.5 и (обзорно) по MATLAB 7.0 [16–20]. Последние версии системы относятся к классу систем MATLAB 7.\*, так как система MATLAB 7.5 имеет второе название MATLAB R2007b. Это указывает на то, что системы MATLAB 7.\* имеют куда общие возможности, чем различия, что и делает целесообразным описание их в одной книге.

Увы, но объем книг по системе MATLAB и пакетам ее расширения непрерывно растет, как и их стоимость. Достаточно отметить, что последние книги только по системе MATLAB 7.0 (без пакетов расширения) учебного характера имеют объем более 1100 [28] и более 750 [29] страниц. Пять упомянутых томов автора по системе MATLAB с пакетами расширения насчитывают уже более 2800 страниц [16–20] и, будучи ориентированными на профессионалов, выпущены в твердом переплете небольшим тиражом. Разумеется, такие книги довольно дороги и не очень доступны.

Dutch	<a href="#">Mathematical Packages of Expansion for MATLAB: Special Handbook</a> Dyakov / Kruglov Piter, 2001
Finnish	
French	
German	
Greek	
Hungarian	
Italian	
Japanese	
Korean	
Norwegian	
Polish	
Portuguese	
Romanian	
<b>Russian</b>	
Serbian	
Slovak	
Spanish	
Swedish	
Turkish	
Ukrainian	
Vietnamese	
<b>Join Book Program</b>	
	<a href="#">MATLAB 5 with Packages of Expansion</a> Dyakov / Abramenkova / Kruglov Knowledge, 2001
	<a href="#">MATLAB 6.5 SP1/7.0 and Simulink 5/6: Bases of Application</a> Dyakov Solon-R, 2005
	<a href="#">MATLAB 6.5 SP1/7.0 and Simulink 5/6: Mathematics and Modeling</a> Dyakov Solon-R, 2005
	<a href="#">MATLAB 6.5 SP1/7.0 and Simulink 5/6: Signal Processing and Filter Design</a> Dyakov Solon-R, 2005
	<a href="#">MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1 and Simulink 5/6: Working with Images and Video</a> Dyakov Solon-R, 2005
	<a href="#">MATLAB 6.5SP1/7/7 SP1/7 SP2 and Simulink 5/6: Artificial Intelligence and Bioinformatic Instruments</a> Dyakov / Kruglov SOLON-Press, 2006
	<a href="#">MATLAB 6/6.1/6.5 and Simulink 4/5 in Mathematics and Simulation</a> Dyakov Solon-R, 2003
	<a href="#">MATLAB 6/6.1/6.5 and Simulink 4/5: Principles of Use</a> Dyakov Solon-R, 2002
	<a href="#">MATLAB 6: An Educational Course</a>

Рис. 0.2. Книги автора по системе MATLAB и пакетам ее расширения на интернет-сайте корпорации The MathWorks

Фирменная документация по системе (англоязычная) представлена уже многими десятками книг, например [44–49]. Она настолько разрослась, что разработчики MATLAB были вынуждены прекратить поставки ее в виде PDF-файлов на отдельном CD-ROM (и даже DVD в последних версиях MATLAB R2007a,b) и разместили ее на своем интернет-сайте. Однако из-за большого объема ее файлов скачать документацию весьма проблематично даже для тех наших пользователей, которые имеют доступ в Интернет. Кроме того, вся фирменная документация англоязычная и труднодоступна для чтения и перевода, так как содержит огромное число специальных англоязычных терминов, перевод которых отнюдь не прост и не тривиален.

Все это делает книги по MATLAB доступными лишь для малой части наших инженеров, научных работников, аспирантов, студентов и преподавателей университетов и вузов. Достаточно отметить, что стоимость всего одной книги среднего объема по системе MATLAB в России составляет примерно трехмесячную выплату на приобретение литературы, предусмотренную в государственных вузах и университетах Российской Федерации для преподавателей.

Такая мощная система, как MATLAB, должна быть отражена в книгах различного толка и стиля: справочниках, руководствах пользователя, учебных изданиях,

монографиях и т. д. И автор многие годы старался подготовить книги по MATLAB разного назначения и стиля.

Но особенно желательным является издание серии относительно небольших учебных курсов и самоучителей по системе MATLAB и ее приложениям. Что касается учебных курсов, то, несмотря на полезный опыт подготовки их по старым версиям MATLAB [7, 8], почвы для такого рода книг в России пока нет. Это связано с тем, что в подавляющем большинстве наших вузов и университетов в их учебных программах изучение специальных курсов по MATLAB не предусмотрено. А в курсах по численным методам и математическому моделированию чаще всего предполагается, что система MATLAB будет изучаться студентами самостоятельно или в ходе выполнения вычислительной практики. В самостоятельном изучении MATLAB заинтересованы также инженеры, научные работники, аспиранты и преподаватели университетов и вузов. Именно поэтому подготовка серии самоучителей по такой мощной системе, как MATLAB, представляется весьма своевременной и наиболее полезной в наше время.

Данная книга первая в этой серии книг. Она основана на материале книг [8, 16], но посвящена только базовой системе MATLAB (вторая книга этой серии будет посвящена пакету расширения Simulink). В ней впервые в нашей литературе описаны новейшие реализации системы MATLAB R2006/2006a/2006b/2007a/2007b и ее как общие, так и специальные применения. Указанные версии системы имеют практически одинаковые (в рамках самоучителя) возможности и некоторые описанные в книге отличия в интерфейсе. По возможности сохранены наглядные примеры применения системы MATLAB из прежних книг, но в эту книгу включено множество и новых примеров, особенно программ на языке программирования системы.

Отличительными особенностями данного самоучителя являются:

- ориентация на читателей, желающих самостоятельно освоить базовую систему MATLAB новых реализаций, и преподавателей вузов, готовящих по ней учебные курсы;
- ориентация на описание системы MATLAB прежде всего как языка программирования, ориентированного на массовые численные методы вычислений и научно-технические расчеты;
- компактность материала при сохранении достаточной полноты изложения подлежащего изучению материала и справочных данных;
- описание новейших реализаций системы MATLAB R2006/2006a/2006b/2007a/2007b;
- ориентация основного материала книги на текущие версии MATLAB с выделением и достаточно полным описанием новаций самых последних версий MATLAB R2007a,b;
- более систематизированное изложение материала;
- значительно расширенный материал по численному решению дифференциальных уравнений различного типа;
- описание большого числа новых примеров для новейших реализаций MATLAB;

- описание впервые в нашей литературе применения системы MATLAB в измерительной технике (урок 14);
- введение ряда новых материалов по визуально-ориентированному программированию средств графического интерфейса пользователя – GUI;
- расширенный обзор пакетов расширения, в который включен ряд новейших пакетов расширения, появившихся только в последних реализациях MATLAB;
- доступность основного материала пользователям предшествующих версий MATLAB 6.\*;
- исключение из книги ряда несущественных деталей, которые затрудняют изучение системы MATLAB и с которыми можно познакомиться самостоятельно по ее обширной справке;
- разделение материала книги на отдельные уроки, каждый из которых, в зависимости от глубины изучения материала, может потребовать примерно от 4 до 6 часов занятий.

Внедрение системы MATLAB в учебный процесс вузов России и стран СНГ находится лишь в начальной стадии. В большинстве наших вузов и университетов пока нет отдельного курса по этой системе, но спецкурсы по ней кое-где уже появились. Как правило, изучение MATLAB выполняется студентами самостоятельно в рамках курсов по численным методам вычислений и математическому моделированию. В таком изучении заинтересованы и преподаватели университетов и вузов, аспиранты, научные работники и инженеры. Им и адресована данная книга. Она может служить не только самоучителем по системе MATLAB, но и достаточно полным учебным курсом по этой системе и даже кратким справочником по ней. Подробное оглавление книги вполне заменяет тематический указатель.

# Благодарности и адреса для связи

Автор выражает благодарность представителям корпорации The MathWorks, Inc., Courtney Esposito, Naomi Fernandes и Meg Vulliez. Подготовка автором книг по системе MATLAB и ее расширениям уже многие годы включается в планы поддержки этой корпорацией издания книг по системе MATLAB в разных странах мира и обеспечивается самыми свежими лицензионными программными средствами с обширной документацией по ним. В частности, благодаря этому автор заведомо получил новейшие реализации системы MATLAB, описанные в данной книге, и смог своевременно и достаточно полно проработать данный материал к моменту широкого появления их на нашем рынке.

Доктору технических наук, профессору Владимиру Круглову и кандидату физико-математических наук, доценту Роману Кристалинскому автор выражает признательность за постоянный обмен мнениями и просмотр некоторых материалов этой книги. Автор благодарит также Генерального директора ЗАО «Смоленский Телепорт» ([www.keytown.com](http://www.keytown.com)) Григория Рухамина за предоставление услуг Интернета в ходе работы над книгой, что позволило посредством прямой оперативной связи с сайтом фирмы The MathWorks, Inc., быть в курсе обновлений системы MATLAB и использовать самую свежую информацию.

С автором можно связаться по электронной почте ([vpdyak@keytown.com](mailto:vpdyak@keytown.com)). Автор заранее выражает признательность всем читателям, которые готовы сообщить свое открытое мнение о данной книге и поделиться соображениями по ее улучшению. К анонимным репликам в свой адрес автор относится отрицательно, полагая, что дискуссия по книгам научного и учебного характера может быть только открытой и честной.

Кроме электронной почты, замечания можно направлять по месту работы автора: 214000, г. Смоленск, ул. Пржевальского, 4, Смоленский государственный университет. Вы можете отправлять свои письма и по адресу издательства, выпустившего книгу.

Связаться с фирмой The MathWorks вы можете, посетив сайт [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com). Ее официальные почтовые реквизиты следующие:

The MathWorks, Inc.  
3 Apple Hill Drive  
Natick, MA, 01760-2098 USA  
Tel: 508-647-7000  
Fax: 508-647-7101  
E-mail: [info@TheMathWorks.com](mailto:info@TheMathWorks.com)

## Первое знакомство с MATLAB

1.1. Назначение и особенности системы MATLAB .....	42
1.2. Начало работы с MATLAB ....	46
1.3. Простые вычисления в MATLAB .....	50
1.4. Основные объекты MATLAB .....	55
1.5. Формирование векторов и матриц .....	66
1.6. Операции с рабочей областью, текстом сессии и редактором m-файлов .....	70
1.7. Интерактивная справка из командной строки .....	74
1.8. Работа с демонстрационными примерами с командной строки .....	78
1.9. Знакомство с двумерной графикой MATLAB .....	82
1.10. Знакомство с трехмерной графикой MATLAB .....	86



Система компьютерной математики MATLAB – сложный программный продукт. Его освоение целесообразно делать в два захода: вначале стоит изучить общие возможности системы и лишь затем приступить к основательному, нередко избранному знакомству с MATLAB. Этот урок посвящен описанию общих возможностей системы MATLAB и может рассматриваться как краткое введение по системе. Он особенно полезен пользователям, впервые приступившим к работе с системой MATLAB.

## 1.1. Назначение и особенности системы MATLAB

### 1.1.1. Начальные сведения о матрицах

Поскольку MATLAB – матричная система, разумно начать ее описание с начальных сведений о векторах и матрицах.

Двумерный массив чисел или математических выражений принято называть *матрицей* [2, 3]. А одномерный массив называют *вектором*. Векторы могут быть двух типов: вектор-строка и вектор-столбец. Примеры векторов и матриц даны ниже:

$[1 \ 2 \ 3 \ 4]$	Вектор-строка из 4 элементов
$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$	Вектор-столбец из 3 элементов
$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 5 & 6 & 7 & 8 \\ 9 & 8 & 7 & 6 \end{bmatrix}$	Матрица размера 3x4 с элементами-числами
$\begin{bmatrix} a & a+b & a+b/c \\ x & y*x & z \\ 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$	Матрица с элементами разного типа

Векторы и матрицы характеризуются *размерностью* и *размером*. Размерность определяет структурную организацию массивов в виде строки (размерность 1), страницы (размерность 2), куба (размерность 3) и т. д. Так что вектор является одномерным массивом, а матрица представляет собой двумерный массив с размерностью 2. MATLAB допускает задание и использование многомерных массивов, но в этом уроке мы ограничимся пока только описанием одномерных и двумерных массивов – векторами и матрицами.

*Размер вектора* – это число его элементов, а размер матрицы определяется произведением числа ее строк  $m$  и столбцов  $n$ . Обычно *размер матрицы* указывают как  $m \times n$ . Матрица называется *квадратной*, если  $m = n$ , то есть число строк матрицы равно числу ее столбцов.

Векторы и матрицы могут иметь имена, например  $\mathbf{V}$  – вектор или  $\mathbf{M}$  – матрица. В данной книге имена векторов и матриц набираются в основном прямым полужирным шрифтом. Элементы векторов и матриц рассматриваются как *индексированные переменные*, например:

- $\mathbf{V}_2$  – второй элемент вектора  $\mathbf{V}$ ;
- $\mathbf{M}_{2,3}$  – третий элемент второй строки матрицы  $\mathbf{M}$ .

Индексы у векторов и матриц в MATLAB имеют целочисленные номера, которые начинаются с 1. Даже обычные числа рассматриваются в MATLAB как матрицы размера  $1 \times 1$ .

## 1.1.2. Назначение матричной системы MATLAB

MATLAB – одна из старейших, тщательно проработанных и проверенных временем систем автоматизации математических и научно-технических расчетов, построенная на расширенном представлении и применении матричных операций [1–49]. Это нашло отражение в названии системы – MATrix LABoratory – *матричная лаборатория*. Применение матриц как основных объектов системы способствует резкому уменьшению числа циклов, которые очень распространены при выполнении матричных вычислений на обычных языках программирования высокого уровня, и облегчению реализации параллельных вычислений.

Одной из основных задач при создании системы MATLAB всегда было предоставление пользователям мощного *языка программирования*, ориентированного на технические и математические расчеты и способного превзойти возможности традиционных языков программирования, которые многие годы использовались для реализации численных методов. При этом особое внимание уделялось как повышению скорости вычислений, так и адаптации системы к решению самых разнообразных задач пользователей.

MATLAB реализует три важные концепции программирования:

- процедурное модульное программирование, основанное на создании модулей – процедур и функций;
- объектно-ориентированное программирование, особенно ценное в реализации графических средств системы;
- визуально-ориентированное программирование, направленное на создание средств графического интерфейса пользователя GUI (Graphics User Interface).

Язык программирования MATLAB относится к классу *интерпретаторов*. Это значит, что любая команда системы распознается (интерпретируется) по ее имени (идентификатору) и немедленно исполняется в командной строке, что обеспечивает легкую проверку по частям любого программного кода. Одновременно интерпретирующий характер языка программирования MATLAB означает, что с первых строк описания средств этой системы фактически описывается ее язык программирования.

Важными достоинствами системы являются ее *открытость* и *расширяемость*. Большинство команд и функций системы реализованы в виде m-файлов текстового формата (с расширением **.m**) и файлов на языке C/C++, причем все файлы доступны для модификации. Пользователю дана возможность создавать не только отдельные файлы, но и библиотеки файлов для реализации специфических задач. Любой набор команд в справке можно тут же исполнить с помощью команды Evaluate Selection контекстного меню правой клавиши мыши.

### **1.1.3. Системные требования к установке**

Новые версии системы MATLAB, например MATLAB R2006\*/2007\*, – весьма громоздкий программный комплекс, который требует до 1500–3200 Мб дисковой памяти (в зависимости от конкретной поставки, полноты справочной системы и числа устанавливаемых пакетов прикладных программ). Поэтому система поставляется на трех компакт-дисках (CD-ROM) или на DVD. К сожалению, из поставки новых версий исключены PDF-файлы англоязычной документации, но доступ к ним открыт через Интернет. Однако получение их при низкой скорости доступа (до 56 Кбит/с) в наших условиях весьма проблематично [67, 68]. Это усиливает роль русскоязычной литературы по системе MATLAB.

Для успешной установки новых версий MATLAB необходимы следующие минимальные средства:

- компьютер с микропроцессором не ниже Pentium и математическим сопроцессором, рекомендуются процессоры Pentium III, Pentium IV, Pentium M или AMD Athlon, Athlon XP, Athlon MP (последние версии MATLAB 2007a,b поддерживают двухъядерные процессоры, например серий Intel Core 2 Duo, а MATLAB R2007b поддерживает четырехъядерные процессоры, например Intel Core 2 Quad);
- устройство считывания компакт-дисков (привод CD-ROM или DVD), мышь, 8-разрядный графический адаптер и монитор, поддерживающие не менее 256 цветов;
- операционная система Windows XP/2000/NT/Vista (допускается Windows NT4 с сервис-пакетами 5 или 6a);
- ОЗУ емкостью 256 Мб для минимального варианта системы (рекомендуется иметь память 512 Мб и выше);
- до 3200 Мб дискового пространства при полной установке всех расширений и всех справочных систем (345 Мб при установке только MATLAB со справкой);
- свободный USB-порт для подключения ключа, открывающего доступ к системе.

Для использования расширенных возможностей системы нужны графический ускоритель, Windows-совместимые звуковая карта и принтер, текстовый процессор Microsoft Word 97/2000/XP [67] для реализации Notebook, компиляторы языков Си/Си++ и/или ФОРТРАН для подготовки собственных файлов расширения и браузер Netscape Navigator 4.0 и выше или Microsoft Internet Explorer 5.0

и выше. Для просмотра файлов справочной системы в формате PDF нужна программа Adobe Reader или Adobe Acrobat 5.0 и выше.

Далее рассматриваются только реализации системы, работающие с операционными системами класса Windows. Все примеры даны для систем класса MATLAB, запущенных в среде Windows XP.

### **1.1.4. Инсталляция системы MATLAB 7 + Simulink 6**

Система MATLAB 7.\* (R2006\*/2007\*) + Simulink 6.\* /7 поставляется на трех CD-ROM или на одном DVD. Для инсталляции ее с другими пакетами расширения достаточно установить первый CD-ROM и дождаться его автоматического запуска (или запустить его, как обычно). После распаковки и установки файлов инсталлятора на короткое время появляется окно с эмблемой MATLAB, а затем первое окно инсталлятора.

Инсталляция системы MATLAB неоднократно описывалась, и потому детали ее в этой книге опущены. Отметим лишь, что в первом окне инсталлятора надо установить опцию **Install** для инсталляции или опцию обновления лицензии и получения кода PLP (Personal License Password). Этот код является группой из 20 цифр. Установим Install и нажмем мышью кнопку **Next>**. Появится окно для ввода данных пользователя (имени и названия организации) и, главное, кода PLP. Этот код записывается в виде длинного числа и указывается на диске при продаже MATLAB или запрашивается у MathWorks по Интернету. Каждый легальный пользователь MATLAB ныне имеет свои страницы на этом интернет-сайте с данными о лицензии, ее сроках и комплекте поставки MATLAB. С этой страницы можно получить и коды PLP.

Дальнейшие операции производятся в соответствии с простыми указаниями окон инсталлятора. Инсталляция занимает немало времени – около получаса даже на современных ПК. Ничего нового в инсталляции нет и в новейших версиях MATLAB R2007a,b, лишь недавно появившихся на рынке программных средств России. Система поставляется на DVD.

### **1.1.5. Файловая система MATLAB**

MATLAB состоит из многих тысяч файлов, находящихся во множестве папок. Полезно иметь представление о содержании основных папок, поскольку это позволяет быстро оценить возможности системы. Кроме того, нередко надо обеспечить путь к нужным для работы файлам системы, иначе содержащиеся в них команды не будут работать.

В MATLAB особое значение имеют файлы двух типов – с расширениями **.mat** и **.m**. Первые являются бинарными файлами, в которых могут храниться значения переменных. Вторые представляют собой текстовые файлы, содержащие внешние программы, определения команд и функций системы. Именно к ним от-

носятся большая часть команд и функций, в том числе задаваемых пользователем для решения своих специфических задач. Нередко встречаются и файлы с расширением **.c** (коды на языке Си), файлы с откомпилированными кодами MATLAB с расширением **.mex** и др. Исполняемые файлы имеют расширение **.exe**.

Особое значение имеет папка **MATLAB/TOOLBOX/MATLAB**. В ней содержится набор стандартных m-файлов системы. Просмотр этих файлов позволяет детально оценить возможности поставляемой конкретной версии системы.

Полный состав файлов каждой папки (их список содержится в файле **contents.m**) можно вывести на просмотр с помощью команды `help имя`, где *имя* – название соответствующей подпапки. Ознакомиться с файловой системой MATLAB несложно с помощью Проводника Windows или любого файлового менеджера. В MATLAB 2007b директории лучше упорядочены, чем в предшествующих версиях.

## 1.2. Начало работы с MATLAB

### 1.2.1. Запуск MATLAB и работа в режиме диалога

Интерфейс и возможности трех последних версий системы MATLAB в рамках предназначения данной книги как самоучителя различаются незначительно. Однако при описании отдельных деталей системы желательно ориентироваться на какую-либо конкретную версию системы. В качестве таковой вначале рассмотрим подверсию MATLAB R2006b. Она распространена намного больше, чем новейшие MATLAB R2007a,b. О новых возможностях их будет сказано немного позднее. Пока же отметим, что в рамках материалов, характерных для данной книги-самоучителя, разница между различными версиями базовой системы MATLAB практически отсутствует.

MATLAB (к примеру, R2006b) обычно запускается из главного меню операционной системы Windows XP или активизацией ярлыка с логотипом системы на рабочем столе Windows. После запуска MATLAB на экране появляется основное окно системы MATLAB, показанное на рис. 1.1. Оно имеет обычные средства управления размерами, скрытия и закрытия. В окне командного режима показано окно About MATLAB, которое выводится одноименной командой в позиции Help меню и позволяет уточнить версию системы.

Система готова к проведению вычислений в *командном режиме*. Полезно знать, что в начале запуска автоматически выполняется команда `matlabrc`, которая исполняет загрузочный файл **matlabrc.m** и файл **startup.m**, если таковой существует. Эти файлы текстового формата выполняют начальную настройку терминала системы и задают ряд ее параметров.

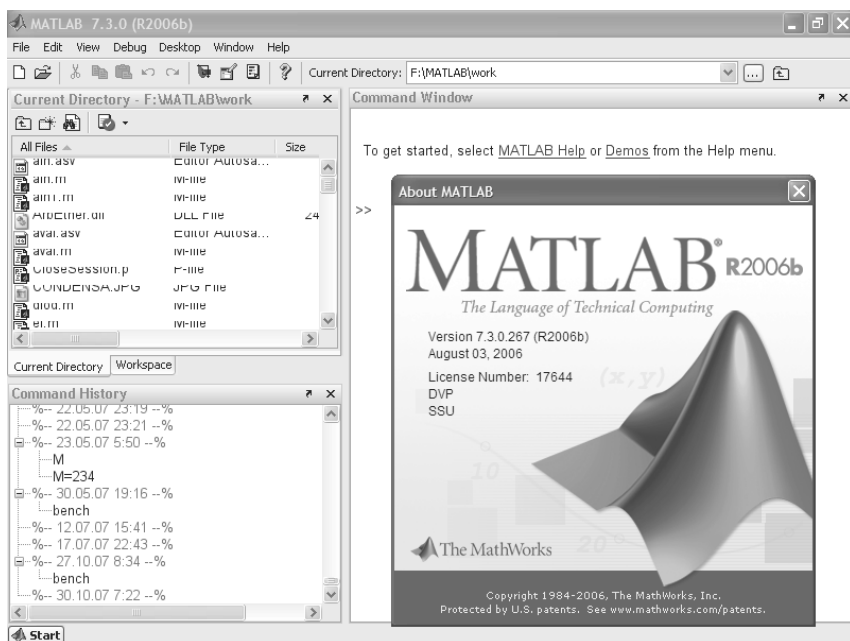


Рис. 1.1. Окно системы MATLAB 2006b после запуска

## 1.2.2. Понятие о сессии работы с системой MATLAB

Сеанс работы с MATLAB принято именовать *сессией* (session). Сессия в сущности является текущим документом, отражающим работу пользователя с системой MATLAB. В ней имеются строки ввода, вывода и сообщений об ошибках. Входящие в сессию определения переменных и функций, расположенные в рабочей области памяти, но не саму сессию можно записать на диск (файлы формата **.mat**), используя команду **save** (**Сохранить**). Команда **load** (**Загрузить**) позволяет считать с диска данные рабочей области. Фрагменты сессии можно оформить в виде дневника с помощью команды **diary** (**Дневник**). Позже мы обсудим эти команды подробно.

Полезно обратить внимание на возможность использования контекстного меню правой клавиши мыши в момент выделения той или иной позиции рабочего меню. Как и во всех приложениях операционных систем Windows XP/2000/NT4, это меню дает доступ ко всем возможным в данный момент операциям.

### 1.2.3. Новый и старый облики системы MATLAB

Вид окна системы MATLAB (рис. 1.1), выводимого изначально, вполне отвечает канонам современного интерфейса Windows-приложений. Пользовательский интерфейс многооконный и имеет ряд средств прямого доступа к различным компонентам системы. В панели инструментов имеется меню просмотра файловой системы с кнопкой его открытия.

В левой части общего окна системы имеются окна доступа к компонентам системы **Launch Pad/Workspace (Панель запуска/Рабочая область)** и окно **Current Directory (текущей папки)**. Под ними расположено окно **Command History**, содержащее список выполненных команд. Щелкнув мышью по любой команде, ее можно перенести в текущую строку окна командного режима MATLAB.

Меню MATLAB R2006 стало контекстно-зависимым. Изменение внешнего вида интерфейса отведено командам позиции `Desktop` меню. Если оставить только командное окно, то интерфейс MATLAB будет иметь упрощенный вид – см. рис. 1.2. Такой вид интерфейса был характерен для старых версий системы. Многие пользователи находят его наиболее приемлемым.

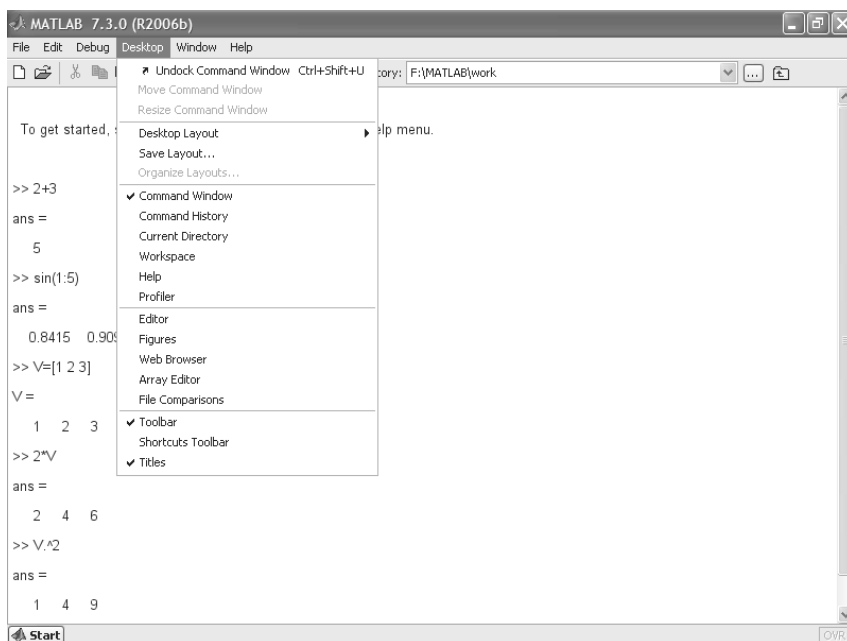


Рис. 1.2. Упрощенный интерфейс системы MATLAB 2006b

## 1.2.4. Операции строчного редактирования

При работе с MATLAB в командном режиме действует простейший строчный редактор. Его работа знакома любому пользователю ПК еще со времен работы с приложениями под операционную систему MS-DOS и в детальном описании не нуждается. Ограничимся указанием команд строчного редактирования, которые представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Команды строчного редактора MATLAB

Комбинация клавиш	Назначение
→ или <b>Ctrl+b</b>	Перемещение курсора вправо на один символ
← или <b>Ctrl+f</b>	Перемещение курсора влево на один символ
<b>Ctrl+→</b> или <b>Ctrl+r</b>	Перемещение курсора вправо на одно слово
<b>Ctrl+←</b> или <b>Ctrl+l</b>	Перемещение курсора влево на одно слово
<b>Home</b> или <b>Ctrl+a</b>	Перемещение курсора в начало строки
<b>End</b> или <b>Ctrl+e</b>	Перемещение курсора в конец строки
↑ и ↓ или <b>Ctrl+p</b> и <b>Ctrl+n</b>	Перелистывание предыдущих команд вверх или вниз для подстановки в строку ввода
<b>Del</b> или <b>Ctrl+d</b>	Стирание символа справа от курсора
← или <b>Ctrl+h</b>	Стирание символа слева от курсора
<b>Ctrl+k</b>	Стирание до конца строки
<b>Esc</b>	Очистка строки ввода
<b>Ins</b>	Включение/выключение режима вставки
<b>PgUp</b>	Перелистывание страниц сессии вверх
<b>PgDn</b>	Перелистывание страниц сессии вниз

Обратите особое внимание на применение клавиш ↑ и ↓. Они используются для подстановки после маркера строки ввода >> ранее введенных строк, например для их исправления, дублирования или дополнения. При этом указанные клавиши обеспечивают перелистывание ранее введенных строк снизу вверх или сверху вниз. Такая возможность существует благодаря организации специального стека, хранящего строки с исполненными ранее командами.

## 1.2.5. Команды управления окном

Полезно сразу усвоить некоторые команды управления окном командного режима:

- `clc` – очищает экран и размещает курсор в левом верхнем углу пустого экрана;
- `home` – возвращает курсор в левый верхний угол окна;
- `echo <file_name> on` – включает режим вывода на экран текста Script-файла (файла-сценария);
- `echo <file_name> off` – выключает режим вывода на экран текста Script-файла;
- `echo <file_name>` – меняет режим вывода на противоположный;
- `echo on all` – включает режим вывода на экран текста всех m-файлов;



- `echo off all` – отключает режим вывода на экран текста всех `m`-файлов;
- `more on` – включает режим постраничного вывода (полезен при просмотре больших `m`-файлов);
- `more off` – отключает режим постраничного вывода (в этом случае для просмотра больших файлов надо пользоваться линейкой прокрутки).

В новых версиях MATLAB обе команды `clc` и `home` действуют аналогично – очищают экран и помещают курсор в левый верхний угол окна командного режима работы.

## 1.3. Простые вычисления в MATLAB

### 1.3.1. MATLAB в роли мощного научного калькулятора

Интерпретирующий язык программирования системы MATLAB создан таким образом, что любые (подчас весьма сложные) вычисления можно выполнять в режиме *прямых вычислений*, то есть без подготовки программы пользователем. При этом MATLAB выполняет функции суперкалькулятора и работает в *режиме командной строки*.

Работа с системой носит диалоговый характер и происходит по правилу «задал вопрос – получил ответ». Пользователь набирает на клавиатуре вычисляемое выражение, редактирует его (если нужно) в командной строке и завершает ввод нажатием клавиши **ENTER**. В качестве примера на рис. 1.2 показаны простейшие и вполне очевидные вычисления.

Даже из таких простых примеров можно сделать некоторые поучительные выводы:

- для указания ввода исходных данных используется символ `>>`;
- данные вводятся с помощью простейшего строчного редактора;
- для блокировки вывода результата вычислений некоторого выражения после него надо установить знак `;` (точка с запятой);
- если не указана переменная для значения результата вычислений, то MATLAB назначает такую переменную с именем `ans`;
- знаком присваивания является привычный математикам знак равенства `=`, а не комбинированный знак `:=`, как во многих других языках программирования и математических системах;
- встроенные функции (например, `sin`) записываются строчными буквами, и их аргументы указываются в *круглых скобках*;
- результат вычислений выводится в строках вывода (без знака `>>`);
- диалог происходит в стиле «задал вопрос – получил ответ».

Следующие примеры (см. рис. 1.3) иллюстрируют применение системы MATLAB для выполнения еще ряда простых векторных операций. На рисунке представлено также окно браузера файловой системы, который имеется на вкладке `Current Directory`, видной на рис. 1.1. В командном режиме вызов окна браузера файловой системы удобнее производить из панели инструментов активизацией кнопки после списка директорий системы MATLAB. Возможны случаи отказа от

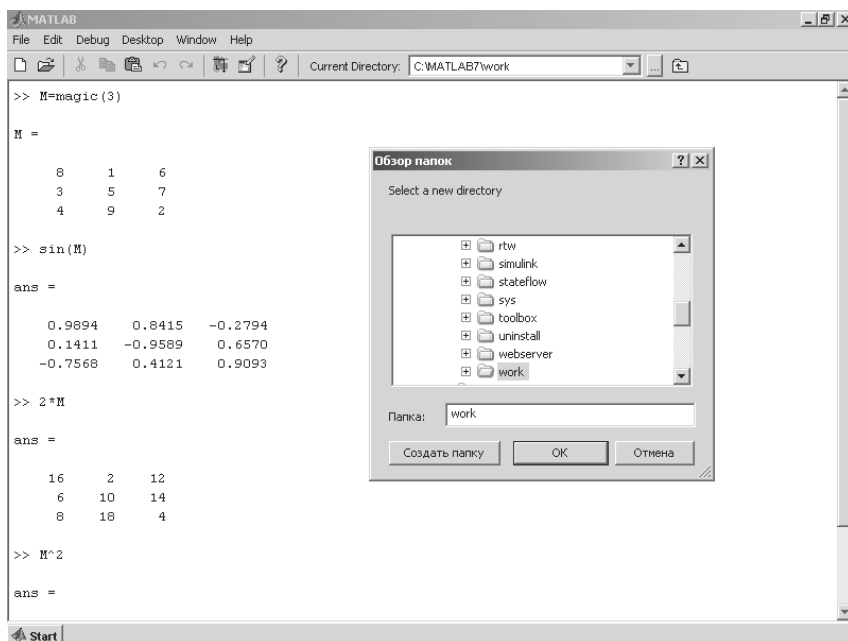


Рис. 1.3. Примеры операций с матрицей

вычислений при неправильно установленной текущей директории, если нужные для вычислений  $m$ -файлы не обнаруживаются.

В большинстве математических систем вычисление  $\sin(V)$  или  $\exp(V)$ , где  $V$  – вектор, сопровождалось бы выдачей ошибки, поскольку функции  $\sin$  и  $\exp$  должны иметь аргумент в виде скалярной величины. Однако MATLAB – матричная система, а вектор является разновидностью матрицы с размером  $1 \times n$  или  $n \times 1$ . Поэтому в нашем случае результат вычислений будет вектором того же размера, что и аргумент  $V$ , но элементы возвращаемого вектора будут синусами или экспонентами от элементов вектора  $V$ .

Матрица задается в виде ряда векторов, представляющих ее строки и заключенных в квадратные скобки. Для разделения элементов векторов используется пробел или запятая, а для отделения одного вектора от другого – точка с запятой. Для выделения отдельного элемента матрицы  $M$  используется выражение вида  $M(j, i)$ , где  $M$  – имя матрицы,  $j$  – номер строки и  $i$  – номер столбца.

Для просмотра содержимого массивов удобно использовать браузер рабочего пространства *Workspace*. Каждый вектор и матрица в нем представляются в виде квадратика с ячейками, справа от которого указывается размер массива. Двойной щелчок по квадратику мышью ведет к появлению окна редактора массивов *Array Editor* – его окно показано на рис. 1.4. Работа с редактором массивов вполне очевидна – возможен не только просмотр элементов массивов, но и их редактирование и замена.

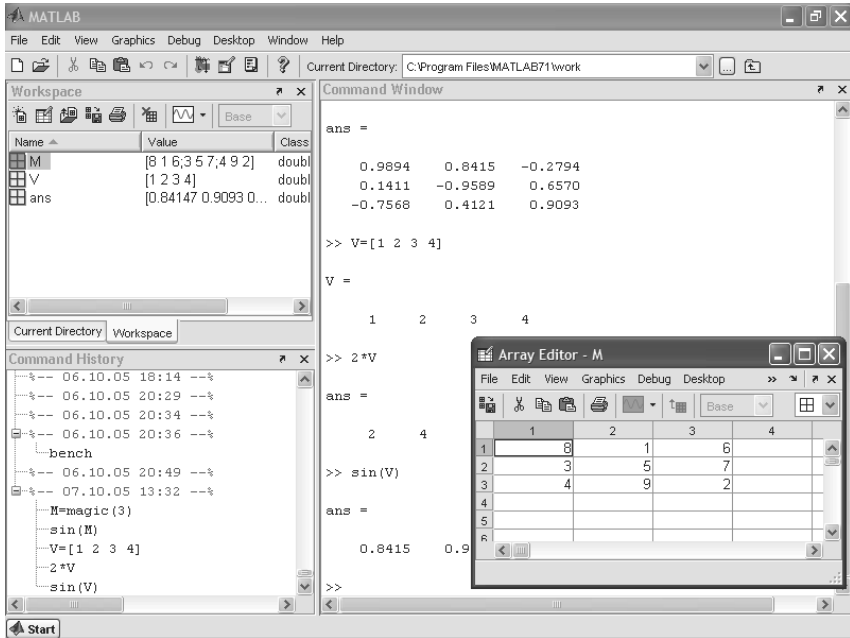


Рис. 1.4. Работа с редактором массивов

Как видно из приведенных примеров, ввод исходных выражений для вычислений в системе MATLAB осуществляется в самом обычном текстовом формате. В этом же формате выдаются результаты вычислений, за исключением графических. Приведем примеры записи вычислений, выполненных системой MATLAB в командной строке и размещенных в тексте книги:

To get started, select "MATLAB Help" from the Help menu.

```
>> 2+3
```

```
ans =
```

```
5
```

```
>> sin(1)
```

```
ans =
```

```
0.8415
```

```
>> type sin
```

```
sin is a built-in function.
```

```
>> help sin
```

```
SIN Sine.
```

```
SIN(X) is the sine of the elements of X.
```

```
Overloaded methods
```

```
help sym/sin.m
```

```
>> V=[1 2 3 4]
```

```
V =
```

```
1 2 3 4
```

```
>> sin(V)
ans =
    0.8415 0.9093 0.1411 -0.7568
>> 3*V
ans =
     3     6     9    12
>> V^2
??? Error using ==> ^
Matrix must be square.
>> V.^2
ans =
     1     4     9    16
>> V+2
ans =
     3     4     5     6
>>
```

Обратите внимание на форму ответов при выполнении простых операций без указания переменной, которой присваивается результат. В таких случаях MATLAB сам назначает переменную `ans`, которой присваивается результат и значение которой затем выводится на экран.

## 1.3.2. Форма вывода и перенос строки в сессии

Следует отметить особенности вывода в системе MATLAB. Вывод начинается с новой строки, причем числовые данные выводятся с отступом, а текстовые – без него. Для экономии места в данной книге в дальнейшем вывод будет даваться без перевода на новую строку. Например, вывод вектора-строки

```
ans =
     3     4     5     6
```

будет дан в виде:

```
ans = 3 4 5 6
```

Исключением является вывод векторов столбцов и матриц – тут будет сохранена более наглядная и присущая MATLAB по умолчанию форма вывода.

В некоторых случаях вводимое математическое выражение может оказаться настолько длинным, что для него не хватит одной строки. Тогда часть выражения можно перенести на новую строку с помощью знака многоточия «...» (3 или более точек), например:

```
s = 1 - 1/2 + 1/3 - 1/4 + 1/5 - 1/6 + 1/7 ...
1/8 + 1/9 - 1/10 + 1/11 - 1/12;
```

Максимальное число символов в одной строке командного режима – 4096, а в `m`-файле – не ограничено, но со столь длинными строками работать неудобно. В ранних версиях в одной строке было не более 256 символов.

### 1.3.3. Запуск примеров применения MATLAB из командной строки

MATLAB имеет множество примеров применения, часть из которых можно запускать прямо из командной строки. Например, команда

```
>> bench
```

запускает m-файл bench.m демонстрационного примера тестирования системы (рис. 1.5).

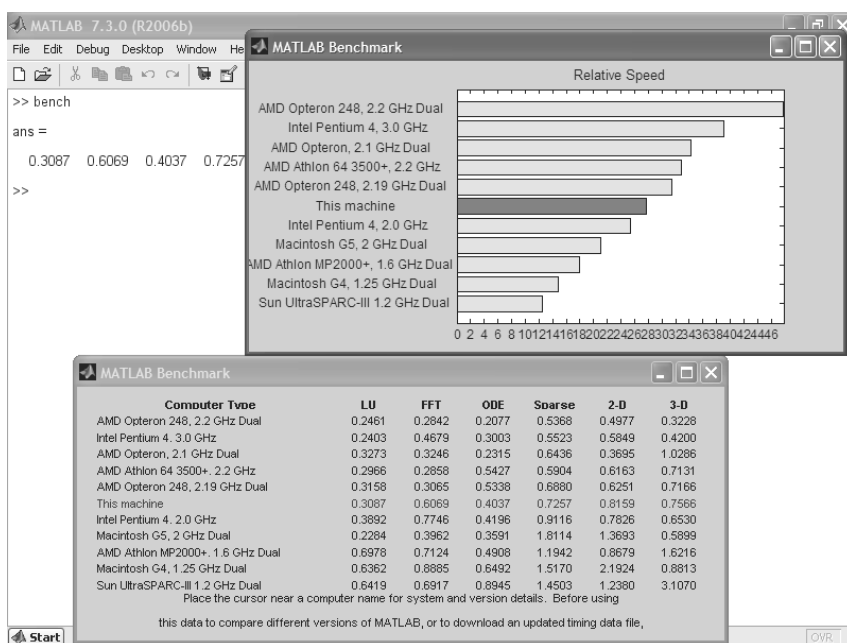


Рис. 1.5. Пример тестирования MATLAB 2006b на скорость выполнения различных операций

Здесь ПК автора на процессоре Pentium 4 HT 2,6 ГГц занял среднее место. Лучшие места заняли в основном ПК на основе самых новейших двухъядерных микропроцессоров или на двух процессорах. В уроке 2 будут описаны результаты тестирования новейших версий MATLAB на новейших четырехъядерных ПК.

## 1.4. Основные объекты MATLAB

### 1.4.1. Понятие о математическом выражении

Центральным понятием всех математических систем является *математическое выражение*. Оно задает то, что должно быть вычислено в численном (реже символьном) виде. Вот примеры простых математических выражений, записанных в MATLAB и в математике.

В MATLAB:	В математике:
2+3;	2+3
2^3*sqrt(y)/2;	2+3*003*****/2
2.301*sin(x)	2,301sin(x)
4+exp(3)/5	4+e3/5

Разница в записи вполне очевидна. В MATLAB выражения записываются в виде одной строки и вместо разделительной запятой в числах применяется разделительная точка. Математические выражения строятся на основе чисел, констант, переменных, операторов, функций и разных спецзнаков. Ниже даются краткие пояснения сути этих понятий. Специфика MATLAB в том, что математические выражения задаются в виде одной строки. Например,  $2^3$  записывается как 2^3. Знак ; (точка с запятой) в конце строки ввода блокирует вывод результата вычислений, например:

```
>> 2^3;
```

Однако специальная переменная *ans* (от *answer* – ответ) позволяет вывести результат вычислений:

```
>> ans  
ans = 8
```

### 1.4.2. Действительные и комплексные числа

*Число* – простейший объект языка MATLAB, представляющий количественные данные. Числа можно считать константами. Числа используются в общепринятом представлении о них. Они могут быть целыми, дробными, с фиксированной и плавающей точкой. Возможно представление чисел в хорошо известном научном формате с указанием мантиссы и порядка числа. Ниже приводятся примеры представления действительных чисел:

```
0  
-3  
2.301  
123.456e-24  
-234.456e10
```

Как нетрудно заметить, в мантиссе чисел целая часть отделяется от дробной не запятой, а точкой, как принято в большинстве языков программирования. Для отделения порядка числа от мантиссы используется символ  $e$ . Знак «плюс» у чисел не проставляется, а знак «минус» у числа называют *унарным минусом*. Пробелы между символами в числах не допускаются.

Числа могут быть *комплексными*:  $z = \text{Re}(x) + \text{Im}(x) * i$ . Такие числа содержат действительную  $\text{Re}(z)$  и мнимую  $\text{Im}(z)$  части. Мнимая часть имеет множитель  $i$  или  $j$ , означающий корень квадратный из  $-1$ :

```
3i
2j
2+3i
-3.141i
-123.456+2.7e-3i
```

Функция  $\text{real}(z)$  возвращает действительную часть комплексного числа,  $\text{Re}(z)$ , а функция  $\text{imag}(z)$  – мнимую,  $\text{Im}(z)$ . Для получения модуля комплексного числа используется функция  $\text{abs}(z)$ , а для вычисления фазы –  $\text{angle}(z)$ . Ниже даны простейшие примеры работы с комплексными числами:

```
>> i
ans = 0 + 1.0000i
>> j
ans = 0 + 1.0000i
>> z=2+3i
z = 2.0000 + 3.0000i
>> abs(z)
ans = 3.6056
>> real(z)
ans = 2
>> imag(z)
ans = 3
>> angle(z)
ans = 0.9828
```

Операции над числами по умолчанию выполняются в формате, который принято считать форматом *с двойной точностью* (правильнее сказать с двойной разрядностью).

### 1.4.3. Форматы чисел

Для установки определенного *формата* представления чисел используется команда

```
>> format name
```

где *name* – имя формата. Для иллюстрации различных форматов рассмотрим вектор, содержащий два элемента-числа:

```
x=[4/3 1.2345e-6]
```

В различных форматах их представления будут иметь следующий вид:

format short	1.3333	0.0000
format short e	1.3333E+000	1.2345E-006
format long	1.333333333333338	0.000001234500000
format long e	1.333333333333338E+000	1.234500000000000E-006
format bank	1.33	0.00

Задание формата сказывается только на *форме вывода* чисел. Вычисления все равно происходят в формате двойной точности, а ввод чисел возможен в любом удобном для пользователя виде.

## 1.4.4. Константы и системные переменные

*Константа* – это предварительно определенное числовое или символьное значение, представленное уникальным именем (идентификатором). Числа (например, 1, -2 и 1.23) являются безымянными *числовыми константами*.

Другие виды констант в MATLAB принято называть *системными переменными*, поскольку, с одной стороны, они задаются системой при ее загрузке, а с другой – могут переопределяться. Основные системные переменные, применяемые в системе MATLAB, указаны ниже:

- $i$  или  $j$  – мнимая единица (корень квадратный из  $-1$ );
- $\pi$  – число  $p = 3,1415926\dots$ ;
- $\text{eps}$  – погрешность операций над числами с плавающей точкой ( $2^{-52}$ );
- $\text{realmin}$  – наименьшее число с плавающей точкой ( $2^{-1022}$ );
- $\text{realmax}$  – наибольшее число с плавающей точкой ( $2^{1023}$ );
- $\text{inf}$  – значение машинной бесконечности;
- $\text{ans}$  – переменная, хранящая результат последней операции и обычно вызывающая его отображение на экране дисплея;
- NaN – указание на нечисловой характер данных (Not-a-Number).

Вот примеры применения системных переменных:

```
>> 2*pi
ans = 6.2832
>> eps
ans = 2.2204e-016
>> realmin
ans = 2.2251e-308
>> realmax
ans = 1.7977e+308
>> 1/0
Warning: Divide by zero.
ans = Inf
>> 0/0
Warning: Divide by zero.
ans = NaN
```

Как отмечалось, системные переменные могут *переопределяться*. Можно задать системной переменной  $\text{eps}$  иное значение, например  $\text{eps}=0.0001$ . Однако



важно то, что их значения по умолчанию задаются сразу после загрузки системы. Поэтому неопределенными, в отличие от обычных переменных, системные переменные не могут быть никогда.

*Символьная константа* – это цепочка символов, заключенных в апострофы, например:

```
'Hello my friend!'  
'Привет'  
'2+3'
```

Если в апострофы помещено математическое выражение, то оно *не вычисляется* и рассматривается просто как цепочка символов. Так что '2+3' не будет возвращать число 5. Однако с помощью специальных функций преобразования символьные выражения могут быть преобразованы в вычисляемые. Соответствующие функции преобразования будут рассмотрены в дальнейшем.

### **1.4.5. Текстовые комментарии в программах**

Поскольку MATLAB используется для достаточно сложных вычислений, важное значение имеет наглядность их описания. Она достигается, в частности, с помощью текстовых комментариев. *Текстовые комментарии в программах* вводятся с помощью символа %, например так:

```
% It is factorial function
```

В новых версиях MATLAB отпала проблема ввода комментариев с символами кириллицы. Так что подобный комментарий также вполне приемлем:

```
% Это функция вычисления факториала
```

Обычно первые строки m-файлов служат для описания их назначения, которое выводится на экран дисплея после команды

```
>> help Имя_файла
```

Считается правилом хорошего тона вводить в m-файлы достаточно подробные текстовые комментарии. Без таких комментариев даже разработчик программных модулей быстро забывает о сути собственных решений.

### **1.4.6. Переменные и присваивание им значений**

*Переменные* – это имеющие имена объекты, способные хранить некоторые, обычно разные по значению, данные. В зависимости от этих данных переменные могут быть числовыми или символьными, векторными или матричными. Переменные являются широко распространенными объектами в математике и программировании.