

УДК 32.973.26-018.2

ББК 004.438

Д93

А

**Дьяконов, Владимир Павлович.**

Д93 MATLAB. Полный самоучитель / В. П. Дьяконов. — 2-е изд., эл. — 1 файл pdf : 769 с. — Москва : ДМК Пресс, 2023. — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-543-5

Самоучитель по массовой матричной системе MATLAB, занимающей лидирующее место в области численных научно-технических вычислений, расчетов и моделирования. Основное внимание уделено описанию основ применения и языка программирования базовой системы MATLAB, реализации численных методов вычислений и визуально-ориентированному проектированию графического интерфейса пользователя (GUI). Описаны особенности интерфейса MATLAB, операторы, функции и средства программирования. Приведены сотни примеров применения MATLAB в учебных, научно-технических и математических вычислениях и расчетах. Для студентов, преподавателей и аспирантов университетов и вузов различного профиля, инженеров и научных работников.

УДК 32.973.26-018.2

ББК 004.438

**Электронное издание на основе печатного издания:** MATLAB. Полный самоучитель / В. П. Дьяконов. — Москва : ДМК Пресс, 2014. — 768 с. — ISBN 978-5-97060-082-5. — Текст : непосредственный.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-89818-543-5

© Дьяконов В. П., 2014

© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2014

А

# Содержание

<b>Введение .....</b>	<b>35</b>
<b>Благодарности и адреса для связи .....</b>	<b>40</b>
<b>Урок 1. Первое знакомство с MATLAB .....</b>	<b>41</b>
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
1.5. Формирование векторов и матриц .....	66
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
1.6. Операции с рабочей областью, текстом сессии и редактором m-файлов .....	70
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
<b>1.7. Интерактивная справка из командной строки .....</b>	<b>74</b>
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
<b>1.8. Работа с демонстрационными примерами с командной строки .....</b>	<b>78</b>
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
<b>1.9. Знакомство с двумерной графикой MATLAB .....</b>	<b>82</b>
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 fplot .....	85
<b>1.10. Знакомство с трехмерной графикой MATLAB .....</b>	<b>86</b>
1.10.1. Построение трехмерных графиков .....	86
1.10.2. Вращение графиков мышью .....	87
1.10.3. Контекстное меню графиков .....	88

## Урок 2. Знакомство с интерфейсом

<b>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 .....**

<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

<b>3.2. Специальные символы .....</b>	<b>156</b>
3.2.1. Специальные символы .....	156
3.2.2. Системные переменные и константы .....	159
<b>3.3. Работа со специальными данными .....</b>	<b>161</b>
3.3.1. Поразрядная обработка данных .....	161
3.3.2. Обработка множеств .....	162
3.3.3. Работа с функциями времени и даты .....	165
<b>3.4. Встроенные элементарные функции .....</b>	<b>168</b>
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
<b>3.5. Числовые функции .....</b>	<b>180</b>
3.5.1. Округление и смена знака чисел .....	180
3.5.2. Операции с комплексными числами .....	181
<b>3.6. Специальные математические функции .....</b>	<b>182</b>
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
<b>4.4. Матричные операции линейной алгебры .....</b>	<b>213</b>
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 bisky .....	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
5.8. Массивы ячеек .....	269
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
5.9. Многомерные массивы ячеек .....	274
5.9.1. Создание многомерных массивов ячеек .....	274
5.9.2. Вложенные массивы ячеек .....	275

## Урок 6. Программные средства

### обычной графики .....

6.1. Графики функций и данных .....	278
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 .....**

#### **8.1. Решение систем линейных уравнений (СЛУ) ....**

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 .....**

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 .....**

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
8.4. Вычисление минимумов функций .....	398
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
8.5. Аппроксимация производных .....	403
8.5.1. Аппроксимация лапласиана .....	403
8.5.2. Аппроксимация производных конечными разностями .....	404
8.5.3. Вычисление градиента функции .....	407
8.6. Численное интегрирование .....	408
8.6.1. Интегрирование методом трапеций .....	408
8.6.2. Интегрирование методом квадратур .....	409
8.6.3. Вычисления двойных и тройных интегралов .....	410
8.7. Математические операции с полиномами .....	411
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

<b>8.8. Обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ)</b> .....	416
8.8.1. Определение ОДУ .....	416
8.8.2. Решатели ОДУ .....	417
8.8.3. Использование решателей систем ОДУ .....	419
<b>8.9. Примеры решения дифференциальных уравнений</b> .....	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** .....

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>	<b>493</b>
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>	 <b>531</b>
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
11.10. Профилирование программ в MATLAB 7 .....	575
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
11.11. Общение MATLAB с операционной системой ..	579
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
11.12. Поддержка Java .....	582
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
11.13. Компиляция MATLAB-программ .....	587
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 .....**

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

## **Урок 13. Обзор расширений MATLAB .....**

<b>13.1. Состав расширений MATLAB .....</b>	<b>660</b>
13.1.1. Классификация расширений системы MATLAB+Simulink .....	660
13.1.2. Главный пакет расширения Simulink 5/6 .....	660
<b>13.2. Примеры работы с Simulink .....</b>	<b>662</b>
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</b>	
<b>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**

### **с измерительными приборами .....**

717

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>