

**УДК 32.973.26-018.2**  
**ББК 004.438**  
**Д93**

**Д93 Дьяконов В. П.**

Mathematica 5/6/7. Полное руководство. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 624 с.: ил.

**ISBN 978-5-97060-742-8**

В книге описаны основы программирования и применения трех последних версий системы Mathematica 5 (5.1 и 5.2), 6.0 и 7.0. Все они – мировые лидеры среди универсальных систем компьютерной математики. Особое внимание уделено описанию наиболее популярной версии Mathematica 6.0, в ядро которой добавлено свыше тысячи новых функций и команд, введены уникальные средства динамической оценки переменных, визуализации любых видов вычислений и динамического графического интерфейса ноутбуков (документов). Описаны сотни примеров применения систем. В последнюю главу добавлены новые возможности версии 7.0.

Издание предназначено для всех пользователей ПК, применяющих математические методы в образовании, в инженерной практике и в научных расчетах и, прежде всего, желающих освоить программирование в системах Mathematica.

УДК 519.6  
ББК В162я73

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.

ISBN 978-5-97060-742-8

© Дьяконов В. П.

© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2019

# Краткое содержание

<b>Введение</b> .....	29
<b>Глава 1</b> <b>ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ</b> <b>И РАБОТА С МАТЕМАТИКА 5/6</b> .....	33
<b>Глава 2</b> <b>ТИПОВЫЕ СРЕДСТВА</b> <b>ПРОГРАММИРОВАНИЯ</b> .....	97
<b>Глава 3</b> <b>ТИПЫ ДАННЫХ, ОПЕРАТОРЫ</b> <b>И ФУНКЦИИ</b> .....	157
<b>Глава 4</b> <b>ФУНКЦИИ РАБОТЫ СО СЛОЖНЫМИ ТИПАМИ</b> <b>ДАННЫХ</b> .....	203
<b>Глава 5</b> <b>ФУНКЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО</b> <b>АНАЛИЗА</b> .....	231
<b>Глава 6</b> <b>ФУНКЦИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ,</b> <b>ФУНКЦИЙ И СИГНАЛОВ</b> .....	285
<b>Глава 7</b> <b>ФУНКЦИИ СИМВОЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ</b> ...	369

---

<b>Глава 8</b> <b>СРЕДСТВА ПРОГРАММИРОВАНИЯ</b> <b>ГРАФИКИ .....</b>	<b>399</b>
<b>Глава 9</b> <b>СПЕЦИАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА</b> <b>ПРОГРАММИРОВАНИЯ .....</b>	<b>495</b>
<b>Глава 10</b> <b>МАТЕМАТИКА 7 - НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ .....</b>	<b>571</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>619</b>

# Содержание

<b>Введение</b> .....	29
-----------------------	----

## Глава 1

### Интерфейс пользователя

<b>и работа с Mathematica 5/6</b> .....	33
---	----

1.1. Пуск системы и начало работы с ней .....	34
---	----

1.1.1. История появления системы Mathematica и ее место .....	34
---	----

1.1.2. Инсталляция и запуск системы Mathematica 5 .....	35
---	----

1.1.3. Главное меню и окно редактирования документов .....	36
--	----

1.1.4. Палитры математических операторов и функций .....	37
--	----

1.1.5. Первые навыки работы и понятие о ноутбуках (документах) .....	38
---	----

1.2. Работа с файлами (File) .....	40
------------------------------------	----

1.2.1. Основные виды файлов и пакеты расширения .....	40
---	----

1.2.2. Команды позиции File меню .....	41
--	----

1.2.3. Работа с файлами документов .....	42
--	----

1.2.4. Операции с файлами со специальным форматом .....	42
---	----

1.2.5. Преобразование документов в палитру и наоборот .....	43
---	----

1.2.6. Печать ноутбуков .....	43
-------------------------------	----

1.2.7. Команда завершения работы с системой – Exit .....	43
--	----

1.3. Редактирование документа (Edit) .....	44
--	----

1.3.1. Основные понятия о документах и их стилях .....	44
--	----

1.3.2. Выделения в документах и использование мыши .....	44
--	----

1.3.3. Подготовка текстовых комментариев .....	46
--	----

1.3.4. Команды позиции Edit главного меню .....	47
---	----

---

1.3.5. Операции с буфером промежуточного хранения .....	48
1.3.6. Специальные команды правки .....	48
1.3.7. Установка предпочтений .....	49
1.4. Работа с ячейками (Cell) .....	50
1.4.1. Понятие о ячейках документов .....	50
1.4.2. Команды позиции Cell главного меню .....	50
1.4.3. Манипуляции с ячейками .....	51
1.4.4. Работа с графическими и звуковыми возможностями .....	54
1.5. Операции форматирования ячеек (Format) .....	55
1.5.1. Команды позиции Format главного меню .....	55
1.5.2. Изменение стиля документов .....	55
1.5.3. Опции стилей и программ и их изменение .....	56
1.5.4. Уточненное управление стилем документов .....	57
1.5.5. Установка стиля интерфейса .....	58
1.6. Ввод элементов документов (Input) .....	58
1.6.1. Ввод координат двумерных графиков .....	58
1.6.2. Работа с селектором обзора трехмерных графиков .....	59
1.6.3. Изменение цветовой гаммы .....	61
1.6.4. Работа с фонографом .....	61
1.6.5. Вставка файла .....	61
1.6.6. Ввод таблиц, матриц и палитр .....	61
1.6.7. Ввод и редактирование кнопок .....	62
1.6.8. Вставка гиперссылки .....	62
1.6.9. Создание и ввод специальных объектов .....	63
1.6.10. Вставки, связанные с ячейками .....	64
1.6.11. Вставки имен функций и списков их параметров .....	65
1.7. Управление работой ядра системы (Kernel) .....	65
1.7.1. Команды позиции Kernel главного меню .....	65

Содержание	7
1.7.2. Управление процессом вычислений .....	65
1.7.3. Выбор ядра системы .....	67
1.7.4. Управление показом номеров ячеек .....	67
1.7.5. Удаление всех ячеек вывода .....	68
1.8. Операции поиска и замены .....	68
1.8.1. Обзор подменю Find .....	68
1.8.2. Команды поиска и замены .....	68
1.8.3. Обнаружение и открытие выделенных строк .....	68
1.8.4. Работа с этикетками .....	69
1.9. Управление окнами (Windows) .....	69
1.9.1. Команды позиции Windows главного меню .....	69
1.9.2. Управление расположением и вывод специальных окон .....	69
1.10. Работа с информационными ресурсами системы Mathematica .....	70
1.10.1. Справка по системе Mathematica 5 .....	70
1.10.2. Открытие справочной базы данных Mathematica 5.2 .....	70
1.10.3. Работа со справкой Mathematica 5.1/5.2 .....	71
1.10.4. Другие команды меню Help .....	73
1.11. Возможности системы Mathematica 5.2 .....	74
1.11.1. Увеличение функциональности системы .....	74
1.11.2. Поддержка многоядерных микропроцессоров .....	74
1.11.3. Увеличение скорости вычисления математических функций .....	76
1.11.4. Поддержка 64-разрядных микропроцессоров .....	77
1.11.5. Повышение производительности в обычных условиях .....	78
1.12. Интерфейс пользователя системы Mathematica 6 .....	78

1.12.1. Запуск Mathematica 6 и изменения в меню системы .....	78
1.12.2. Справочная система Mathematica 6 .....	80
<b>1.13. Особенности системы Mathematica 6 .....</b>	<b>83</b>
1.13.1. Основные новинки системы Mathematica 6 .....	83
1.13.2. Скорость работы Mathematica 6 .....	85
1.13.3. Ориентация в изучении системы на примеры ее применения .....	86
1.13.4. Динамическая интерактивность при символьных вычислениях .....	87
1.13.5. Управление графиками мышью .....	89
1.13.6. Динамическая интерактивность при графической визуализации .....	90
1.13.7. Комплексное тестирование Mathematica 6 на скорость вычислений .....	93

## **Глава 2**

<b>Типовые средства программирования .....</b>	<b>97</b>
2.1. Mathematica как система программирования .....	98
2.1.1. Понятие о входном языке системы и языке реализации ....	98
2.1.2. Возможности языка программирования системы Mathematica .....	98
2.1.3. Структура систем Mathematica .....	100
2.1.4. Идеология систем Mathematica .....	101
2.1.5. Пакеты расширения Add-On .....	101
2.1.6. Полная и частичная загрузка пакетов расширения Add-On .....	102
2.1.7. Применение пакетов Add-On системы Mathematica 6 ....	102
2.1.8. Концепция динамического изменения переменных в Mathematica 6 .....	104
2.2. Функции символьных вычислений .....	106

---

2.2.1. Понятие о символьных (аналитических) вычислениях ....	106
2.2.2. Диагностика ошибок .....	107
2.2.3. Простые примеры из математического анализа .....	108
2.2.4. Точная арифметика .....	109
2.2.5. Проблемы символьных вычислений .....	110
2.2.6. Проверка результатов вычислений .....	113
2.2.7. Удаление введенных в ходе сессии определений .....	113
<b>2.3. Применение образцов .....</b>	<b>114</b>
2.3.1. Понятие об образцах .....	114
2.3.2. Задание свойств функций с помощью образцов .....	114
2.3.3. Задание в образцах типов данных .....	115
2.3.4. Типы образцов .....	115
<b>2.4. Основы функционального программирования в среде Mathematica .....</b>	<b>116</b>
2.4.1. Суть функционального программирования .....	116
2.4.2. Функции пользователя .....	117
2.4.3. Задание чистых функций .....	118
2.4.4. Анонимные функции .....	119
2.4.5. Суперпозиция функций .....	120
2.4.6. Функции FixedPoint и Cath .....	120
2.4.7. Реализация рекурсивных и рекуррентных алгоритмов ....	121
<b>2.5. Основы процедурного программирования .....</b>	<b>122</b>
2.5.1. Однострочные процедуры и их задание .....	122
2.5.2. Блоки для задания процедур .....	123
<b>2.6. Организация циклов .....</b>	<b>123</b>
2.6.1. Для чего нужны циклы .....	123
2.6.2. Циклы типа Do .....	124
2.6.3. Циклы типа For .....	126

2.6.4. Циклы типа While .....	126
2.6.5. Директивы-функции прерывания и продолжения циклов .....	127
<b>2.7. Условные выражения и безусловные переходы .....</b>	<b>128</b>
2.7.1. Функция If .....	129
2.7.2. Функции-переключатели .....	130
2.7.3. Безусловные переходы .....	131
<b>2.8. Механизм контекстов .....</b>	<b>132</b>
2.8.1. Старые проблемы .....	132
2.8.2. Что такое контекст? .....	133
2.8.3. Работа с контекстами .....	134
2.8.4. Получение списков определений с контекстами .....	135
<b>2.9. Программирование ввода-вывода .....</b>	<b>136</b>
2.9.1. Осуществление интерактивного диалога .....	136
2.9.2. Задание формата вывода .....	137
<b>2.10. Функции задания объектов GUI ноутбуков .....</b>	<b>140</b>
2.10.1. Слайдеры однокоординатные .....	140
2.10.2. Слайдеры двухкоординатные .....	141
2.10.3. Элементы установки опций CheckBox .....	141
2.10.4. Локаторы .....	142
2.10.5. Функции управления и контроля мышью .....	142
2.10.6. Кнопка с надписью .....	144
2.10.7. Манипулятор .....	144
2.10.8. Задатчик угла поворота радиус-вектора .....	144
2.10.9. Выпадающее меню акций .....	145
2.10.10. Панель ввода выражений .....	146
2.10.11. Радиокнопки и меню установок .....	147
2.10.12. Слайдер изменения цвета .....	149

2.10.13. Спусковой «механизм» .....	150
2.10.14. Функции указания места на объекте .....	151
2.10.15. Вывод сообщения при активизации объекта мышью .....	152
2.10.16. Вывод меню и выбор его позиций .....	154
2.10.17. Вывод меню с вкладками и их переключение .....	154
2.10.18. Вывод слайд-меню .....	155
2.10.19. Конструирование отдельных окон с GUI .....	155

## Глава 3

### Типы данных, операторы и функции ..... 157

3.1. Работа с простыми типами данных .....	158
3.1.1. Типы данных системы .....	158
3.1.2. Работа с целыми числами .....	158
3.1.3. Работа с числами вещественного типа .....	160
3.1.4. Работа с комплексными числами .....	162
3.2. Работа со сложными типами данных .....	163
3.2.1. Символьные данные и строки .....	163
3.2.2. Выражения .....	163
3.3. Работа с объектами и функциями .....	164
3.3.1. Объекты и идентификаторы .....	164
3.3.2. Функции, опции, атрибуты и директивы .....	165
3.4. Применение констант и размерных величин .....	167
3.4.1. Применение констант .....	167
3.4.2. Физические константы и размерные величины .....	168
3.5. Работа с переменными .....	168
3.5.1. Расширенное понятие о переменных .....	168
3.5.2. Назначение переменным идентификаторов (имен) .....	169

3.5.3. Особенности применения переменных .....	169
3.5.4. Эволюция значений переменных и операции присваивания .....	170
3.5.5. Предполагаемые переменные .....	171
3.6. Применение подстановок .....	172
3.6.1. Назначение подстановок .....	172
3.6.2. Подстановки с помощью оператора /. .....	172
3.6.3. Подстановки с помощью операторов -> и :> .....	173
3.7. Задание и применение функций пользователя .....	173
3.7.1. Задание функций пользователя .....	173
3.7.2. Сохранение на диске и считывание функций пользователя .....	174
3.7.3. Задание функций пользователя с синтаксисом языков программирования .....	174
3.8. Средства арифметических вычислений .....	175
3.8.1. Арифметические операторы .....	175
3.8.2. Особенности выполнения арифметических операций ...	176
3.8.3. Рационализация чисел .....	177
3.8.4. Укороченная форма записи арифметических операций .....	178
3.9. Функции арифметических операций .....	179
3.9.1. Встроенные функции .....	179
3.9.2. Основные арифметические функции .....	179
3.9.3. Функции генерации случайных чисел .....	181
3.9.4. Функции выявления погрешностей и анализа структуры чисел .....	183
3.10. Логические операторы и функции .....	183
3.10.1. Логические операции .....	183
3.10.2. Основные логические функции .....	184

3.10.3. Дополнительные логические функции .....	186
<b>3.11. Работа с математическими функциями .....</b>	<b>187</b>
3.11.1. Функции комплексного аргумента .....	187
3.11.2. Элементарные функции .....	188
3.11.3. Ортогональные многочлены .....	189
3.11.4. Интегральные показательные и родственные им функции .....	190
3.11.5. Гамма- и полигамма-функции .....	191
3.11.6. Функции Бесселя .....	192
3.11.7. Гипергеометрические функции .....	193
3.11.8. Эллиптические интегралы и интегральные функции ...	193
3.11.9. Функции Эйри .....	194
3.11.10. Бета-функция и относящиеся к ней функции .....	195
3.11.11. Специальные числа и полиномы .....	195
3.11.12. Другие специальные функции .....	196
3.11.13. Новые специальные функции в Mathematica 6 .....	198
<b>3.12. Расширенные возможности работы с объектами .....</b>	<b>199</b>
3.12.1. Оперативная помощь .....	199
3.12.2. Средства диагностики и сообщения об ошибках .....	199
3.12.3. Включение и выключение сообщений об ошибках .....	200
3.12.4. Защита от модификации и ее отмена .....	201

## **Глава 4**

### **Функции работы со сложными типами**

<b>данных .....</b>	<b>203</b>
---------------------	------------

<b>4.1. Создание списков и выделение элементов списков .....</b>	<b>204</b>
4.1.1. Создание списков .....	204

---

4.1.2. Генерация списков .....	205
4.1.3. Выделение элементов списков .....	206
4.1.4. Вывод элементов списков .....	208
<b>4.2. Выявление структуры списков .....</b>	<b>209</b>
4.2.1. Функции выявления структуры списков .....	209
4.2.2. Примеры выявления структуры списков .....	211
<b>4.3. Работа со списком в стеке .....</b>	<b>211</b>
4.3.1. Понятие о стеке .....	211
4.3.2. Работа со стеком .....	212
<b>4.4. Манипуляции с элементами списков .....</b>	<b>212</b>
4.4.1. Включение в список новых элементов .....	212
4.4.2. Удаление элементов из списка .....	213
4.4.3. Изменение порядка элементов в списке .....	214
4.4.4. Комбинирование списков и работа с множествами .....	215
4.4.5. Другие функции для работы со списками .....	216
<b>4.5. Базовые средства линейной алгебры .....</b>	<b>217</b>
4.5.1. Задание массивов .....	217
4.5.2. Векторные функции .....	218
4.5.3. Функции для операций линейной алгебры .....	219
4.5.4. Функции декомпозиции матриц .....	221
4.5.5. Решение систем линейных уравнений .....	222
<b>4.6. Новые средства работы со списками в Mathematica 6 .....</b>	<b>223</b>
4.6.1. Работа с оператором ;; для списков .....	223
4.6.2. Новые функции для работы со списками .....	224
4.6.3. Новые функции для массивов, векторов и матриц .....	225
<b>4.7. Работа со строками .....</b>	<b>227</b>

4.7.1. Функции работы со строками ..... 227  
 4.7.2. Примеры работы со строковыми функциями ..... 228  
 4.7.3. Дополнительные функции работы со строками ..... 228

## Глава 5

### **Функции математического анализа** ..... 231

#### 5.1. Функции вычисления сумм и произведений рядов ..... 232

5.1.1. Функция вычисления сумм ..... 232  
 5.1.2. Функция вычисления сумм в численном виде ..... 233  
 5.1.3. Функция вычисления произведений ..... 234  
 5.1.4. Функция вычисления произведений в численном виде ..... 235

#### 5.2. Функции вычисления производных ..... 236

5.2.1. Основные функции для вычисления производных ..... 236  
 5.2.2. Примеры вычисления производных ..... 237  
 5.2.3. Примеры вычисления обобщенных производных ..... 239

#### 5.3. Вычисление первообразных и определенных интегралов ..... 240

5.3.1. Вычисление интегралов в символьном виде ..... 240  
 5.3.2. Примеры на вычисление определенных интегралов ..... 242  
 5.3.3. Примеры на вычисление кратных интегралов ..... 243  
 5.3.4. Численное интегрирование в Mathematica 5.1/5.2 ..... 245  
 5.3.5. Численное интегрирование в Mathematica 6 ..... 247

#### 5.4. Вычисление пределов функций ..... 248

5.4.1. Функция для вычисления пределов Limit ..... 248  
 5.4.2. Опции функции вычисления пределов ..... 249

#### 5.5. Функции решения алгебраических и нелинейных уравнений ..... 250

5.5.1. Функция Solve для решения уравнений .....	250
5.5.2. Решение систем нелинейных уравнений в символьном виде .....	250
5.5.3. Опции функции Solve .....	251
5.5.4. Функции численного решения уравнений .....	253
5.5.5. Функции вычисления корней уравнений .....	255
5.5.6. Дополнительные функции для решения уравнений .....	256
5.5.7. Графическая иллюстрация и выбор метода решения уравнений .....	258
5.5.8. Получение одновременно нескольких корней .....	261
5.5.9. Получение неизвестных в явном виде .....	262
5.5.10. Решение рекуррентных уравнений .....	263
5.5.11. Решение уравнения Фробениуса в Mathematica 6 .....	264
<b>5.6. Решение дифференциальных уравнений .....</b>	<b>265</b>
5.6.1. Решение дифференциальных уравнений в символьном виде .....	265
5.6.2. Решение дифференциальных уравнений в частных производных .....	267
5.6.3. Решение дифференциальных уравнений в численном виде .....	268
<b>5.7. Функции минимизации и максимизации .....</b>	<b>269</b>
5.7.1. Поиск максимального и минимального чисел в списке .....	270
5.7.2. Поиск локального минимума и максимума аналитической функции .....	271
5.7.3. Поиск глобального максимума и минимума аналитической функции .....	272
5.7.4. Функции оптимизации в Mathematica 5/5.1/5.2 .....	273
5.7.5. Функции оптимизации в Mathematica 6 .....	274
5.7.6. Визуализация оптимизации в Mathematica 6 .....	275
<b>5.8. Функции интегральных преобразований .....</b>	<b>276</b>

5.8.1. Функции преобразований Лапласа ..... 277

5.8.2. Функции Фурье-преобразований ..... 279

5.8.3. Функции косинусного и синусного преобразований  
Фурье ..... 282

5.8.4. Функции z-преобразований ..... 283

## **Глава 6**

### **Функции обработки данных, функций**

**и сигналов** ..... 285

6.1. Разложение функций в степенные ряды ..... 286

6.1.1. Разложения в ряды Тейлора и Маклорена ..... 286

6.1.2. Примеры разложения в ряды Тейлора и Маклорена ..... 287

6.1.3. Удаление члена с остаточной погрешностью ряда ..... 288

6.1.4. Графическая визуализация разложения в ряд ..... 288

6.1.5. О разложении в ряд при большом числе членов ..... 289

6.2. Средства синтеза сигналов ..... 291

6.2.1. Синтез сигналов на основе встроенных функций ..... 291

6.2.2. Гармонический синтез сигналов ..... 292

6.3. Функции полиномиальной интерполяции  
и аппроксимации ..... 294

6.3.1. Функции полиномиальной интерполяция ..... 294

6.3.2. Пример полиномиальной аппроксимации ..... 296

6.3.3. Погрешность полиномиальной аппроксимации ..... 297

6.3.4. Полиномиальная аппроксимация специальных  
функций ..... 297

6.3.5. Полиномиальная аппроксимация при большом  
числе узлов ..... 299

6.3.6. Рациональная интерполяция и аппроксимация ..... 301

6.3.7. Функции рациональной Паде-аппроксимация ..... 305

6.3.8. Оптимизация аппроксимации .....	308
6.3.9. Методика минимаксной аппроксимации .....	310
6.3.10. Сплайновая интерполяция и аппроксимация .....	314
<b>6.4. Регрессия и метод наименьших квадратов .....</b>	<b>315</b>
6.4.1. Регрессия и визуализация ее результатов .....	315
6.4.2. Функции линейной регрессии .....	317
6.4.3. Функции нелинейной регрессии .....	318
6.4.4. Функции полиномиальной регрессии .....	320
6.4.5. Функции тригонометрической регрессии .....	322
<b>6.5. Функции дискретного преобразования Фурье .....</b>	<b>323</b>
6.5.1. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье .....	323
6.5.2. Спектральный анализ на основе прямого преобразования Фурье .....	325
6.5.3. Применение преобразования Фурье для получения спектра сигналов .....	326
6.5.4. Фильтрация сигналов с помощью преобразований Фурье .....	327
6.5.5. Расширенные функции для преобразования Фурье .....	329
<b>6.6. Кусочные функции Piecewise .....</b>	<b>331</b>
6.6.1. Задание кусочных функций .....	331
6.6.2. Работа с кусочными функциями .....	332
<b>6.7. Новые средства Mathematica 6 .....</b>	<b>333</b>
6.7.1. Функции полиномиальной интерполяции .....	333
6.7.2. Пример трехмерной полиномиальной интерполяции ....	333
6.7.3. Полиномиальная интерполяция с заданием значений производной в узлах .....	333
6.7.4. Функция нелинейной регрессии FindFit .....	334
<b>6.8. Функции для работы со звуковыми сигналами .....</b>	<b>335</b>

---

6.8.1. Роль синтеза звука .....	335
6.8.2. Функции для работы со звуком .....	336
6.8.3. Примеры синтеза звуков в Mathematica 5.1/5.2 .....	337
6.8.4. Работа со звуком в Mathematica 6 .....	337
<b>6.9. Функции для работы с потоками и файлами.....</b>	<b>341</b>
6.9.1. Потоки и файлы .....	341
6.9.2. Упрощенная работа с файлами .....	341
6.9.3. Обычные средства для работы с файлами .....	342
6.9.4. Использование файлов других языков программирования.....	343
6.9.5. Запись в файл определений.....	344
6.9.6. Другие функции для работы с файлами .....	344
<b>6.10. Системные функции .....</b>	<b>346</b>
6.10.1. Функции времени и даты .....	346
6.10.2. Общесистемные функции .....	347
6.10.3. Общесистемные функции в Mathematica 6 .....	349
<b>6.11. Функции статистической обработки данных и массивов Statistics .....</b>	<b>350</b>
6.11.1. Назначение пакета Statistics в Mathematica 5.1/5.2 .....	350
6.11.2. Манипуляции с данными – DataManipulation .....	350
6.11.3. Стандартная обработка массива данных .....	352
6.11.4. Линейное сглаживание данных и их фильтрация .....	354
6.11.5. Экспоненциальное сглаживание .....	356
6.11.6. Функции непрерывного распределения вероятностей.....	357
6.11.7. Функции дискретного распределения .....	359
6.11.8. Графика пакета Statistica .....	360
6.11.9. Другие функции статистики .....	361

6.12. Статистические вычисления в Mathematica 6 .....	363
6.12.1. О пакете расширения Statistics в системе Mathematica 6 .....	363
6.12.2. Аналитические статистические расчеты .....	363
6.12.3. Численные статистические расчеты в Mathematica 6 ...	365
6.12.4. Статистические расчеты с графической визуализацией .....	365

## Глава 7

<b>Функции символьных преобразований</b> .....	369
7.1. Работа с выражениями .....	370
7.1.1. Полная форма выражений .....	370
7.1.2. Основные формы выражений .....	371
7.1.3. Части выражений и работа с ними .....	371
7.1.4. Удаление элементов выражения .....	373
7.1.5. Другие манипуляции с выражениями .....	373
7.1.6. Контроль выражений .....	375
7.2. Работа с функциями .....	375
7.2.1. Приложение имени функции к выражению или его части .....	375
7.2.2. Укороченная форма функций .....	376
7.2.3. Выделение заданного аргумента в функциях .....	376
7.2.4. Подстановки в функциях .....	377
7.2.5. Рекурсивные функции .....	377
7.2.6. Дополнительные примеры на работу с функциями .....	378
7.2.7. Инверсные функции .....	379
7.3. Задание математических отношений .....	379
7.3.1. Для чего нужно задание новых отношений .....	379
7.3.2. Примеры задания математических отношений .....	380

<b>7.4. Функции упрощения выражений .....</b>	<b>381</b>
7.4.1. Роль упрощения выражений .....	381
7.4.2. Основная функция Simplify .....	382
7.4.3. Примеры упрощения выражений функцией Simplify .....	383
7.4.4. Функция полного упрощения FullSimplify .....	383
<b>7.5. Раскрытие и расширение выражений .....</b>	<b>384</b>
7.5.1. Функции раскрытия и расширения выражений .....	384
7.5.2. Примеры расширения и раскрытия выражений .....	385
7.5.3. Функция Collect .....	386
7.5.4. Функции преобразования тригонометрических выражений .....	387
<b>7.6. Функции и директивы для работы с полиномами ...</b>	<b>389</b>
7.6.1. Определение полинома (степенного многочлена) .....	389
7.6.2. Основные операции над полиномами .....	390
7.6.3. Разложение полиномов – функции класса Factor .....	390
7.6.4. Функции для работы с полиномами .....	392
7.6.5. Примеры работы с полиномами .....	392
<b>7.7. Расширенные операции с выражениями .....</b>	<b>394</b>
7.7.1. Функции для расширенных операций с выражениями ...	394
7.7.2. Примеры расширенной работы с выражениями .....	396
7.7.3. Средства работы с выражениями в Mathematica 6 .....	397

## **Глава 8**

### **Средства программирования графики .....**

<b>8.1. Построение графиков функций одной переменной .....</b>	<b>400</b>
8.1.1. Графическая функция Plot .....	400
8.1.2. Опции функции Plot .....	400

8.1.3. Применение опций функции Plot .....	402
8.1.4. Директивы двумерной графики и их применение .....	405
8.1.5. Построение графика по точкам – функция ListPlot .....	407
8.1.6. Получение информации о графических объектах .....	408
8.2. Перестройка и комбинирование графиков .....	409
8.2.1. Директива Show .....	409
8.2.2. Примеры применения функции Show .....	409
8.3. Примитивы двумерной графики .....	410
8.4. Построение графиков в полярной системе координат .....	412
8.4.1. Задание функции в параметрической форме .....	412
8.4.2. Функции для построения параметрически заданных графиков .....	413
8.4.3. Примеры построения графиков в полярной системе координат .....	414
8.5. Построение контурных графиков .....	415
8.5.1. Функции для построения контурных графиков .....	415
8.5.2. Опции для функций контурной графики .....	416
8.5.3. Примеры построения контурных графиков .....	417
8.6. Построение графиков плотности .....	419
8.6.1. Функции графиков плотности .....	419
8.6.2. Примеры построения графиков плотности .....	420
8.7. Построение графиков поверхностей .....	421
8.7.1. Принципы построения поверхностей и фигур .....	421
8.7.2. Основные функции для построения 3D графиков .....	421
8.7.3. Опции 3D графики .....	421
8.7.4. Директивы трехмерной графики .....	423

8.7.5. Примеры модификации 3D графиков с помощью опций.....	424
8.7.6. Графическая функция ListPlot3D .....	429
8.7.7. Параметрическая 3D графика .....	430
8.7.8. Построение фигур, пересекающихся в пространстве ....	432
<b>8.8. Примитивы трехмерной графики и их применение .....</b>	<b>434</b>
8.8.1. Функция Graphics3D и ее опции и примитивы .....	434
8.8.2. Примеры применения функции Graphics3D с примитивами .....	436
<b>8.9. Дополнительные средства графики Mathematica 5.1/5.2 .....</b>	<b>438</b>
8.9.1. Импорт графических изображений .....	438
8.9.2. Экспорт графических изображений .....	439
8.9.3. Вставка графических и иных объектов .....	440
<b>8.10. Новые средства графики в Mathematica 6 .....</b>	<b>442</b>
8.10.1. Позиция Graphics меню и графический редактор .....	442
8.10.2. Расширение возможностей функции Plot.....	445
8.10.3. Использование опций закрашки областей двумерных графиков .....	445
8.10.4. Графические динамические модули в Mathematica 6 ...	448
8.10.5. Визуализация данных из списков.....	450
8.10.6. Рельефная графика .....	453
8.10.7. Трехмерные объекты, полученные вращением кривых .....	454
8.10.8. Визуализация работы клеточных автоматов .....	458
8.10.9. Графы, деревья и прочее .....	461
<b>8.11. Функции пакета расширения Graphics .....</b>	<b>461</b>
8.11.1. Функции анимационной графики .....	461

8.11.2. Управление цветом графиков .....	465
8.11.3. Построение стрелок .....	467
8.11.4. Задание картографических систем .....	467
8.11.5. Построение объемных контурных графиков – ContourPlot3D .....	468
8.11.6. Построение графиков с окраской внутренних областей .....	470
8.11.7. Графики логарифмические и полулогарифмические ...	472
8.11.8. Графики в полярной системе координат .....	473
8.11.9. Построение столбиковых и круговых диаграмм .....	473
8.11.10. Объединение графиков различного типа .....	475
8.11.11. Трехмерные столбиковые диаграммы .....	476
8.11.12. Построение точек и кривых в пространстве .....	477
8.11.13. Построение графиков поверхности и ее проекций .....	477
8.11.14. Построение графиков неявных функций .....	478
8.11.15. Вывод обозначений кривых – легенд .....	479
8.11.16. Построение графиков с примитивами .....	480
8.11.17. Построение трехмерных заданных параметрически графиков .....	481
8.11.18. Трехмерные графики в сферической и цилиндрической системах координат .....	481
8.11.19. Построение графиков полей .....	481
8.11.20. Построение пространственных фигур стереометрии .....	482
8.11.21. Создание графических форм .....	485
8.11.22. Построение фигур, пересекающихся в пространстве .....	485
8.11.23. Применение сплайнов .....	486
8.11.24. Функции построения фигур вращения .....	486
<b>8.12. Идеология применения пакета Graphics в Mathematica 6 .....</b>	<b>488</b>

8.12.1. Роль пакета Graphics в Mathematica 6 .....	488
8.12.2. Представление точек графиков произвольными объектами .....	488
8.12.3. Функция PolyhedronData .....	488
8.12.4. Функция GraphData .....	490
8.12.5. Функция GraphicsGrid .....	491
8.12.6. Директива вставки Inset .....	492
8.12.7. Директива непрозрачности Opacity .....	493

## Глава 9

### Специальные средства

<b>программирования</b> .....	495
-------------------------------	-----

9.1. Функциональное программирование специальной графики .....	496
--	-----

9.1.1. Пример программирования графической задачи .....	496
9.1.2. Задание функции для построения фрактала Манделброта .....	497
9.1.3. Задание функции для построения модели деления клеток .....	498

9.2. Подготовка пакетов расширений системы Mathematica .....	499
--	-----

9.2.1. Типовая структура пакетов расширения .....	499
9.2.2. Средства создания пакетов расширений .....	501
9.2.3. Текстовые сообщения и комментарии .....	501
9.2.4. Примеры подготовки пакетов расширений .....	502
9.2.5. Подготовка пакетов применений .....	504

9.3. Отладка и трассировка программ .....	505
---	-----

9.3.1. Некоторые правила культурного программирования .....	506
9.3.2. Трассировка программных модулей .....	507

9.3.3. Основные функции трассировки и отладки .....	508
<b>9.4. Новые средства программирования в Mathematica 6 .....</b>	<b>510</b>
9.4.1. Динамическое изменение переменных и функция Dynamic .....	510
9.4.2. Динамический модуль DynamicModule .....	511
9.4.3. Функция сброса интерактивных изменений Deploy .....	512
9.4.4. Модуль манипуляций Manipulate .....	512
9.4.5. Средства отладки программ и ноутбуков .....	513
<b>9.5. Обзор пакетов расширения Add-On .....</b>	<b>518</b>
9.5.1. Состав пакетов расширения Add-On систем Mathematica 5.1/5.2 .....	518
9.5.2. Пакет алгебраических функций Algebra .....	520
9.5.3. Пакет вычислительных функций Calculus .....	523
9.5.4. Функции дискретной математики – пакет DiscreteMath .....	527
9.5.5. Функции вычислительной геометрии .....	529
9.5.6. Функции геометрических расчетов – пакет Geometry .....	532
9.5.7. Расширение в теории чисел – пакет NumberTheory .....	535
9.5.8. Функции численных расчетов – расширение NumberMath .....	540
9.5.9. Функции работы со звуком пакета Miscellaneous .....	545
9.5.10. Функции для работы с географическими объектами .....	551
9.5.11. Физические и химические данные .....	556
9.5.12. Задание данных только вещественного типа – RealOnly .....	561
9.5.13. Пакет расширения с утилитами – Utilities .....	562
<b>9.6. Данные о других средствах расширения .....</b>	<b>566</b>

**Глава 10**

<b>Mathematica 7 – новые возможности</b> .....	571
10.1. Пути развития новых версий систем Mathematica .....	572
10.1.1. Области применения систем Mathematica 6/7 .....	572
10.1.2. Новые возможности системы Mathematica 7 .....	573
10.2. Новинки интерфейса Mathematica 7 .....	574
10.2.1. Особенности интерфейса системы Mathematica 7 .....	574
10.2.2. Работа со справкой Mathematica 7 .....	575
10.2.3. Изменение предпочтений и настроек в Mathematica 6/7 .....	578
10.2.4. Особенности ноутбуков системы Mathematica 7 .....	580
10.3. Математические данные в Mathematica 6/7 .....	582
10.3.1. Основные типы математических данных .....	582
10.3.2. Функция GraphData с данными по графам .....	583
10.3.3. Функция KnotData с данными об узлах .....	583
10.3.4. Функция LatticeData с данными по решеткам .....	584
10.3.5. Функция PolyhedronData с данными о полиэдрах .....	585
10.3.6. Функция ExampleData с данными о примерах .....	586
10.3.7. Экспорт и импорт математических и графических объектов .....	586
10.3.8. Специальные форматы графов в Mathematica 6/7 .....	587
10.3.9. Интегрированные данные в Mathematica 6/7 .....	588
10.4. Некоторые новые математические возможности .....	590
10.4.1. Визуализация содержимого матриц .....	590

10.4.2. Разреженные массивы (SparseArray) и матрицы .....	591
10.4.3. Некоторые другие матричные функции .....	592
10.4.4. Новые математические функции в Mathematica 7 .....	593
<b>10.5. Расширение возможностей решения дифференциальных уравнений .....</b>	<b>595</b>
10.5.1. Еще о решении дифференциальных уравнений в численном виде .....	595
10.5.2. Задание решения дифференциальных уравнений в виде модуля или функции пользователя .....	597
10.5.3. Пример решения дифференциального уравнения второго порядка с двумя граничными условиями .....	598
10.5.4. Улучшение визуализации фазовых траекторий .....	599
10.5.5. Пример решения ДУ Ван-дер-Поля с применением средства Equation Trekker .....	600
10.5.6. Еще о визуализации решений дифференциальных уравнений .....	602
<b>10.6. Примеры построения ноутбуков для Mathematica 6/7 .....</b>	<b>603</b>
10.6.1. О применении систем Mathematica в решении задач моделирования .....	603
10.6.2. Моделирование емкостного релаксатора на лавинном транзисторе .....	604
10.6.2. Моделирование цепи на туннельном диоде .....	607
10.6.3. Спектральный анализ и синтез сложных сигналов .....	612
<b>Список литературы .....</b>	<b>619</b>