

УДК 004.9Maple:517/519
ББК 32.973.26-018.2+22.19
Д93

Д93 Дьяконов В. П.
Maple 10/11/12/13/14 в математических расчетах. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 800 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-608-7

Самый полный самоучитель по применению пяти последних версий мощной системы компьютерной математики Maple 10/11/12/13/14 в массовых математических аналитических и численных расчетах и в их графической визуализации. В книге описаны решения алгебраических, дифференциальных и иных уравнений, задач математического анализа и обработки данных, интегральные преобразования, вычисление специальных функций и основы математического моделирования. Даны основы программирования систем, описаны пакеты их расширения, средства графического интерфейса пользователя GUI, маплеты.

Издание может служить руководством пользователя по системам Maple разных версий и будет полезно научно-техническим работникам, инженерам, аспирантам, а также студентам и преподавателям университетов и вузов.

УДК 004.9Maple:517/519
ББК 32.973.26-018.2+22.19

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 978-5-97060-608-7

© Дьяконов В. П.
© ДМК Пресс, оформление, издание

Содержание

Предисловие	21
Благодарности и адреса	28
Урок 1. Основы работы с Maple	29
1.1. Краткая характеристика систем класса Maple	30
1.1.1. Назначение и место систем Maple	30
1.1.2. Структура систем Maple	31
1.1.3. Язык программирования систем класса Maple	33
1.2. Начало работы с Maple	34
1.2.1. Установка и запуск Maple	34
1.2.2. Интерфейс Maple – классический или стандартный?	37
1.2.3. Основные возможности Maple 10	38
1.3. Интерфейс пользователя Maple 10	39
1.3.1. Окно системы	39
1.3.2. Меню системы	40
1.3.3. Палитры ввода математических символов	41
1.3.4. Всплывающие подсказки	42
1.4. Работа с файловыми операциями	42
1.4.1. Обзор позиции File меню	42
1.4.2. Создание нового документа	43
1.4.3. Открытие документа	43
1.4.4. Сохранение документа	44
1.4.5. Экспорт файлов и отсылка сообщений по E-mail	45
1.4.6. Закрытие документа	46
1.4.7. Запись настроек	46
1.4.8. Выход из системы	47
1.4.9. Печать документов	47
1.4.10. Предварительный просмотр страниц	48
1.4.11. Установка параметров принтера	49
1.5. Редактирование документов	49
1.5.1. Обзор позиции Edit меню	49
1.5.2. Операции разделения и объединения объектов	50
1.5.3. Исполнение выделенных ячеек или всего документа	50
1.5.4. Удаление ячеек вывода	50
1.6. Операции вставки	51
1.6.1. Обзор меню Insert	51
1.6.2. Основные команды вставки	51
1.6.3. Операции с секциями документов	52
1.6.4. Вставка и применение гиперссылок	53
1.6.5. Вставка и редактирование объектов	54
1.7. Электронные таблицы	55
1.7.1. Вставка электронных таблиц	55
1.7.2. Обзор позиции Spreadsheet меню	57
1.7.3. Работа с электронными таблицами	57

1.8. Операции форматирования	59
1.8.1. Обзор позиции Format меню	59
1.8.2. Установка стилей	60
1.9. Управление видом интерфейса Maple	62
1.9.1. Управление видом интерфейса	62
1.9.2. Установка закладок	63
1.9.3. Управление показом компонентов документа	63
1.9.4. Управление показом непечатаемых символов	63
1.9.5. Представление выражений в строках	64
1.9.6. Контроль за предполагаемыми переменными	66
1.9.7. Управление показом графиков	67
1.10. Позиция Window меню и работа с окнами	67
1.10.1. Позиция Window меню	67
1.10.2. Работа с окнами	68
1.11. Позиция Tools меню	69
1.11.1. Состав позиции Tools меню	69
1.11.2. Вывод окна всех команд	69
1.11.3. Помощники (ассистенты) Maple	69
1.11.4. Интерактивный построитель графиков	70
1.12. Работа с информационными ресурсами Maple 10	71
1.12.1. Доступ к справке при классическом интерфейсе	71
1.12.2. Доступ к справке при стандартном интерфейсе	71
1.12.3. Использование примеров из справки Maple 10	73
1.12.4. Быстрый справочник Quick Reference Card	75
1.13. Работа с пакетами расширения	75
1.13.1. Состав пакетов расширения	75
1.13.2. Получение информации о конкретном пакете	76
1.13.3. Полная и частичная загрузка пакетов расширения	76
1.14. Дополнительные возможности Maple 10	77
1.14.1. Автоматическая нумерация формул в документе	77
1.14.2. Новации интерфейса Maple 10	77
1.14.3. Новые палитры математических символов	78
1.14.4. Новые возможности графики Maple 10	79
1.14.5. Новый самоучитель по Maple 10	81
1.14.6. Словарь математических и инженерных терминов в Maple 10	83
1.14.7. Сопровождающая Maple 10 литература	84
1.14.8. Новые и доработанные пакеты расширения Maple 10	84
1.14.9. Новый набор примеров работы с Maple 10	85
1.14.10. Новые маплет-ассистенты Maple 10	85
1.14.11. Применение шаблонов (Templates) в Maple 10	87
1.14.12. Графический калькулятор Maple 10	88
1.15. Особенности работы с Maple 11	89
1.15.1. Новые возможности Maple 11	89
1.15.2. Интерфейс пользователя системы Maple 11	93
1.15.3. Работа с ассистентом Back Solver	93
1.15.4. Работа с электронным задачником	97
1.15.5. Улучшенные средства настройки системы Maple 11	98
1.16. Версии Maple 12/13/14	98
1.16.1. Новые возможности Maple 12	98

1.16.2. Особенности интерфейса пользователя системы Maple 12.....	99
1.16.3. Справка и самоучители Maple 12.....	101
1.16.4. Новые возможности Maple 12	103
1.16.5. Основные особенности версии Maple 13.....	104
1.16.6. Что нового в Maple 14.....	105
1.16.7. Стыковка Maple 14 с MATLAB.....	107
1.16.8. Интерфейс Maple 14	109
1.16.9. Окно справки Maple 14.....	109
1.17. Основы работы с Maple в диалоговом режиме	111
1.17.1. Начальные навыки работы	111
1.17.2. Понятие о функциях и операторах.....	112
1.17.3. Операторы и средства вывода выражений.....	114
1.17.4. Обработка и индикация ошибок	115
1.17.5. Примеры задания функций пользователя и построения их графиков ..	117
1.17.6. Пример применения инертных функций.....	119
1.18. Повышение эффективности работы с системой.....	119
1.18.1. Работа с контекстными меню правой клавиши мыши	119
1.18.2. Работа с панелью инструментов	120
1.18.3. Работа с контекстными панелями инструментов	120
1.18.4. Контекстная панель инструментов для двумерных графиков.....	122
1.18.5. Контекстная панель инструментов трехмерной графики	123
1.18.6. Строка состояния.....	124
1.18.7. Горячие клавиши системы Maple	125
1.18.8. Оценка скорости вычислений в Maple	125
1.19. Символьные вычисления.....	127
1.19.1. Понятие о символьных (аналитических) вычислениях	127
1.19.2. Простой пример символьных вычислений в электротехнике	129
1.19.3. Разбухание результатов символьных вычислений	130
1.19.4. Пример решения системы линейных уравнений.....	131
1.20. Работа с порталом Maple в Maple 13/14.....	132
Урок 2. Типы данных и работа с ними	137
2.1. Простые типы данных языка программирования Maple.....	138
2.1.1. Знаки алфавита	138
2.1.2. Зарезервированные слова.....	139
2.1.3. Работа с числами и арифметические вычисления	139
2.1.4. Точная арифметика	141
2.1.5. Вычисление числа π с произвольной точностью	142
2.1.6. Работа с комплексными числами	143
2.1.7. Контроль над типами чисел.....	145
2.1.8. Преобразования чисел с разным основанием.....	146
2.1.9. Пакет RealDomain для вычислений с действительными данными	146
2.1.10. Модификация графической функции plot.....	147
2.2. Сложные типы данных.....	147
2.2.1. Создание наборов (множеств)	148
2.2.2. Создание и применение списков выражений	149
2.2.3. Создание массивов, векторов и матриц.....	149
2.2.4. Работа с строителем матриц Matrix Builder Maple	150
2.2.5. Ассистент импорта данных Import Data в Maple	151
2.2.6. Просмотр импортируемых в Maple данных.....	153

2.2.7. Создание Maple-таблиц и их применение	154
2.2.8. Пакет ListTool для работы со списками	155
2.2.9. Структура разбросанных полиномов ряда переменных SDMPolynom	156
2.3. Константы и их применение	157
2.3.1. Символьные и числовые константы	157
2.3.2. Строковые константы	157
2.3.3. Встроенные в ядро Maple константы	157
2.3.4. Идентификация констант	158
2.3.5. Защита идентификаторов констант	158
2.3.6. Задание новых констант	159
2.4. Работа с размерными величинами	159
2.4.1. Пакет поддержки размерных величин Units	159
2.4.2. Примеры работы с размерными величинами	159
2.4.3. Ассистент преобразования размерных величин в Maple 9.5/10	160
2.4.4. Пакет научных констант ScientificConstants	160
2.4.5. Работа с научными константами Maple 11	161
2.4.6. Вызов списка и свойств химических элементов	162
2.4.7. Ассистент преобразования единиц измерений	163
2.4.8. Ассистент научных констант	163
2.5. Функции для работы со строковыми данными	164
2.5.1. Создание и применение строковых данных	164
2.5.2. Неисполняемые программные комментарии	164
2.5.3. Контроль типа строковых данных	165
2.5.4. Интерактивный ввод строк	165
2.5.5. Обработка строк	166
2.5.6. Преобразование строки в математическое выражение	167
2.6. Переменные и их применение	167
2.6.1. Типы переменных	167
2.6.2. Назначение переменным имен	168
2.6.3. Присваивание переменным значений	168
2.6.4. Отмена операции присваивания и команда restart	169
2.6.5. Придание переменным статуса предполагаемых	170
2.7. Работа с файлами и документами	172
2.7.1. Типы файлов	172
2.7.2. Запись данных в файлы	173
2.7.3. Считывание данных из файлов	173
2.7.4. Запись и считывание m-файлов	174
2.7.5. Запись в файлы графических объектов	174
2.8. Вывод в специальных форматах	175
2.8.1. Вывод в формате LaTeX	175
2.8.2. Вывод на языке Фортран	176
2.8.3. Вывод на языке C	176
Урок 3. Математические выражения и функции	177
3.1. Работа с операторами	178
3.1.1. Операторы и операнды	178
3.1.2. Виды операторов	178
3.1.3. Применение бинарных (инфиксных) операторов	179
3.1.4. Работа с множествами	182
3.1.5. Оператор in в множествах	182

3.1.6. Применение унарных арифметических операторов	183
3.1.7. Применение оператора % и команды history	184
3.1.8. Логические операторы.....	185
3.1.9. Специальные типы операторов.....	186
3.1.10. Применение функциональных операторов	186
3.1.11. Определение нейтральных операторов.....	187
3.1.12. Определение операторов с помощью оператора define	187
3.2. Работа с математическими функциями и выражениями	189
3.2.1. Понятие о функциях	189
3.2.2. Математические выражения	190
3.2.3. Работа с элементарными функциями в системе Maple.....	191
3.2.4. Некоторые целочисленные функции и факториал	192
3.2.5. Функции с элементами сравнения и их применение	193
3.2.6. Тригонометрические функции и гармонический синтез	194
3.2.7. Обратные тригонометрические функции	197
3.2.8. Гиперболические и обратные гиперболические функции.....	198
3.2.9. Степенные и логарифмические функции	199
3.2.10. Применение элементарных функций для моделирования сигналов	200
3.2.11. Применение функций с элементами сравнения	202
3.2.12. Функции комплексного аргумента.....	203
3.2.13. Построение графиков функций в Maple-окне	204
3.3. Специальные математические функции	205
3.3.1. Обзор специальных математических функций	205
3.3.2. Специальные математические функции системы Maple.....	208
3.3.4. Консультант по функциям	210
3.3.5. Ассистент по специальным функциям в Maple 11	211
3.4. Работа с функциями пакетов расширения Maple	213
3.4.1. Работа с функциями пакета комбинаторики combinat	213
3.4.2. Функции пакета структур комбинаторики combstruct	215
3.4.3. Функции пакета теории чисел – numtheory.....	216
3.4.4. Пакет для работы с р-адическими числами – padic	216
3.4.5. Пакет для работы с гауссовыми целыми числами – GaussInt	216
3.5. Расширенные возможности Maple в работе с выражениями	217
3.5.1. Ввод выражений	217
3.5.2. Оценивание выражений	218
3.5.3. Последовательности выражений	220
3.5.4. Вывод выражений.....	221
3.5.5. Работа с частями выражений	222
3.5.6. Работа с уровнями вложенности выражений.....	223
3.5.7. Преобразование выражений в тождественные формы.....	223
3.5.8. Преобразование выражений.....	225
3.5.9. Контроль за типами объектов	226
3.6. Работа с подстановками	228
3.6.1. Функциональные преобразования подвыражений	228
3.6.2. Функциональные преобразования элементов списков.....	229
3.6.3. Подстановки с помощью функций add, mul и seq.....	231
3.6.4. Подстановки с помощью функций subs и subsop.....	231
3.6.5. Подстановки правил и подвыражений.....	233
3.6.6. Функции сортировки и селекции	233
3.7. Символьные преобразования выражений	236

3.7.1. Упрощение выражений – simplify.....	236
3.7.2. Расширение выражений – expand	240
3.7.3. Разложение целых и рациональных чисел – ifactor	241
3.7.4. Разложение выражений (факторизация) – factor	242
3.7.5. Комплектование по степеням – collect	243
3.7.6. Работа с пакетом рациональных нормальных форм RationalNormalForms	244
3.8. Статистические вычисления в системе Maple	245
3.8.1. Эксперименты, события и другие понятия статистики	245
3.8.2. Дискретные и непрерывные случайные величины	246
3.8.3. Законы распределения и статистические функции	248
3.8.4. Пакет статистических вычислений Statistics	248
3.8.5. Генерация случайных чисел с заданным распределением.....	249
3.8.6. Графика статистического пакета Statistics	249
3.8.7. Ассистент интерактивного статистического анализа данных	250
Урок 4. Математический анализ	253
4.1. Суммы и произведения членов последовательностей.....	254
4.1.1. Суммы членов последовательностей	254
4.1.2. Пакет вычисления специальных сумм sumtools	256
4.1.3. Произведения членов последовательностей	257
4.2. Вычисление производных	258
4.2.1. Определение производной и полного дифференциала.....	258
4.2.2. Функции дифференцирования diff и Diff	259
4.2.3. Дифференциальный оператор D	261
4.2.4. Импликативное дифференцирование	262
4.2.5. Maple-вычислитель производных Derivatives.....	263
4.2.6. Maple-инструмент по методам дифференцирования	264
4.3. Вычисление интегралов	265
4.3.1. Определение интегралов.....	265
4.3.2. Вычисление неопределенных интегралов	266
4.3.3. Конвертирование и преобразование интегралов	268
4.3.4. Вычисление определенных интегралов.....	268
4.3.5. Каверзные интегралы и визуализация результатов интегрирования	269
4.3.6. Вычисление несобственных интегралов	274
4.3.7. Интегралы с переменными пределами интегрирования	276
4.3.8. Вычисление кратных интегралов.....	277
4.3.9. О вычислении некоторых других интегралов	278
4.3.10. Maple-демонстрация построения графика первообразной	279
4.3.11. Maple-демонстрация методов интегрирования.....	280
4.3.12. Численное интегрирование.....	281
4.4. Вычисление пределов функций.....	283
4.4.1. Определение предела функции	283
4.4.2. Функции вычисления пределов.....	283
4.4.3. Вычисление пяти замечательных пределов.....	284
4.4.4. Графическая иллюстрация вычисления пределов с двух сторон	285
4.4.5. Maple-инструмент для иллюстрации методов вычисления пределов	285
4.5. Разложение функций в ряды	287
4.5.1. Вычисление степенных рядов	287

4.5.2. Разложение в ряды Тейлора и Маклорена	289
4.5.3. Пример документа – разложения синуса в ряд.....	290
4.5.4. Пакет вычисления степенных разложений powseries.....	293
4.5.5. Maplet-иллюстрация аппроксимации рядом Тейлора.....	294
4.6. Визуализация приложений математического анализа.....	295
4.6.1. Суммы Римана и приближение интегралов	295
4.6.2. Вычисление длины дуги	298
4.6.3. Иллюстрация теоремы о среднем	298
4.6.4. Построение касательной к заданной точке кривой	299
4.6.5. Построение касательной к заданной точке кривой и секущих линий	300
4.6.6. Вычисление поверхности вращения кривой.....	300
4.6.7. Вычисление объема фигуры, полученной вращением отрезка кривой	301
4.7. Решение уравнений и неравенств	302
4.7.1. Основная функция solve	302
4.7.2. Решение одиночных нелинейных уравнений	303
4.7.3. Решение тригонометрических уравнений	305
4.7.4. Решение систем линейных уравнений	306
4.7.5. Решение систем нелинейных и трансцендентных уравнений	309
4.7.6. Функция RootOf	310
4.7.7. Решение уравнений со специальными функциями	311
4.7.8. Решение неравенств	312
4.7.9. Решение функциональных уравнений	313
4.7.10. Решение уравнений с линейными операторами	313
4.7.11. Решение в численном виде – функция fsolve	314
4.7.12. Решение рекуррентных уравнений – rsolve	316
4.7.13. Решение уравнений в целочисленном виде – isolve	317
4.7.14. Функция msolve	317
4.8. Применение пакета расширения student	318
4.8.1. Функции пакета student.....	318
4.8.2. Функции интегрирования пакета student	319
4.8.3. Иллюстративная графика пакета student	319
4.8.4. Визуализация методов численного интегрирования	321
4.9. Работа с алгебраическими кривыми	321
4.9.1. Пакет для работы с алгебраическими кривыми algcurves.....	321
4.9.2. Примеры работы с алгебраическими кривыми	322
4.9.3. Построение алгебраических кривых класса knot	323
4.10. Векторные вычисления и функции теории поля.....	324
4.10.1. Пакет векторных вычислений VectorCalculus	324
4.10.2. Объекты векторных вычислений	325
4.10.3. Основные операции с векторами	327
4.10.4. Операции с кривыми.....	329
4.10.5. Интегрирование в пакете VectorCalculus	331
4.10.6. Задание матриц специального типа.....	332
4.10.7. Функции теории поля.....	335
4.10.8. Приближение площади сложной поверхности суммами Римана	337
4.10.9. Вычисление поверхностных интегралов	340
4.11. Пошаговый и поэтапный контроль вычислений	340
4.11.1. Функции userinfo и infolevel	340
4.11.2. Примеры применения функции infolevel	341

Урок 5. Анализ функциональных зависимостей и обработка данных	343
5.1. Анализ функциональных зависимостей	344
5.1.1. Понятие о функциональных зависимостях	344
5.1.2. Поиск экстремумов функций по нулям первой производной	344
5.1.3. Поиск экстремумов в аналитическом виде	346
5.1.4. Поиск максимума амплитудно-частотной характеристики	347
5.1.5. Поиск экстремумов с помощью функции extrema	348
5.1.6. Поиск минимумов и максимумов аналитических функций	349
5.1.7. Поиск минимума функций с ограничениями методом выпуклого программирования	351
5.1.8. Анализ функций на непрерывность	352
5.1.9. Определение точек нарушения непрерывности	353
5.1.10. Нахождение сингулярных точек функции	353
5.1.11. Вычисление асимптотических и иных разложений	354
5.1.12. Пример анализа сложной функции	355
5.1.13. Maple-инструмент по анализу функциональных зависимостей	357
5.2. Работа с функциями из отдельных кусков	358
5.2.1. Создание функций из отдельных кусков	358
5.2.2. Простые примеры применения функции piecewise	359
5.2.3. Работа с функциями piecewise	359
5.3. Операции с полиномами	361
5.3.1. Определение полиномов	361
5.3.2. Выделение коэффициентов полиномов	361
5.3.3. Оценка коэффициентов полинома по степеням	362
5.3.4. Оценка степеней полинома	363
5.3.5. Контроль полинома на наличие несокращаемых множителей	364
5.3.6. Разложение полинома по степеням	365
5.3.7. Вычисление корней полинома	366
5.3.8. Основные операции с полиномами	367
5.3.9. Операции над степенными многочленами с отрицательными степенями	369
5.4. Работа с ортогональными полиномами	370
5.4.1. Состав пакета orthopoly	370
5.4.2. Вычисление ортогональных полиномов	371
5.4.3. Построение графиков ортогональных полиномов	372
5.4.4. Работа с рядами ортогональных многочленов	372
5.5. Пакет PolynomialTools	374
5.5.1. Обзор возможностей пакета PolynomialTools	374
5.5.2. Функции для работы с полиномами	375
5.5.3. Функции сортировки полиномов	376
5.5.4. Функции преобразования полиномов в PDE и обратно	377
5.6. Введение в интерполяцию и аппроксимацию	378
5.6.1. Основные понятия	378
5.6.2. Полиномиальная аппроксимация и интерполяция аналитических зависимостей	379
5.6.3. Интерполяционный метод Лагранжа	380
5.6.4. Интерполяционный метод Ньютона	381
5.6.5. Итерационно-интерполяционный метод Эйткена	381

5.6.6. Чебышевская интерполяция	381
5.6.7. Сплайновая интерполяция, экстраполяция и аппроксимация	382
5.6.8. Рациональная интерполяция и аппроаксимация	383
5.6.9. Метод наименьших квадратов (МНК)	384
5.6.10. Тригонометрическая интерполяция рядами Фурье	386
5.7. Аппроксимация зависимостей в Maple	388
5.7.1. Аппроксимация аналитически заданных функций	388
5.7.2. Сплайн-интерполяция в Maple	390
5.7.3. Полиномиальная интерполяция табличных данных	391
5.8. Применение числовой аппроксимации функций	394
5.8.1. Состав пакета numapprox	394
5.8.2. Разложение функции в ряд Лорана	394
5.8.3. Паде-аппроксимация аналитических функций	394
5.8.4. Паде-аппроксимация с полиномами Чебышева	396
5.8.5. Наилучшая минимаксная аппроксимация	397
5.8.6. Наилучшая минимаксная аппроксимация по алгоритму Ремеза	397
5.8.7. Другие функции пакета numapprox	398
5.9. Пакет приближения кривых CurveFitting	398
5.9.1. Общая характеристика пакета Curve Fitting	398
5.9.2. Функция вычисления В-сплайнов Bsplines	399
5.9.3. Функция построения В-сплайновых кривых BsplineCurve	399
5.9.4. Сравнение полиномиальной и сплайновой аппроксимаций	400
5.9.5. Сплайновая аппроксимация при большом числе узлов	401
5.9.6. Функция реализации метода наименьших квадратов LeastSquares	402
5.9.7. Функция полиномиальной аппроксимации	404
5.9.8. Функция рациональной аппроксимации	405
5.9.9. Функция вычисления обычных сплайнов Spline	405
5.9.10. Функция аппроксимации непрерывными дробями	406
5.10. Выбор аппроксимации для сложной функции	406
5.10.1. Задание исходной функции и построение ее графика	406
5.10.2. Минимаксная аппроксимация	407
5.10.3. Эффективная оценка рациональных функций	408
5.10.4. Сравнение времен вычислений	409
5.10.5. Преобразование в код ФОРТРАНа или С	410
5.11. Интегральные преобразования функций	410
5.11.1. Прямое и обратное Z-преобразования	410
5.11.2. Быстрое преобразование Фурье	411
5.11.3. Общая характеристика пакета inttrans	412
5.11.4. Прямое и обратное преобразования Фурье	412
5.11.5. Вычисление косинусного и синусного интегралов Фурье	414
5.11.6. Прямое и обратное преобразования Лапласа	415
5.11.7. Интегральное преобразование Ханкеля	417
5.11.8. Прямое и обратное преобразования Гильберта	418
5.11.9. Интегральное преобразование Меллина	420
5.11.10. Функция addtable	420
5.12. Регрессионный анализ	421
5.12.1. Функция fit для регрессии в пакете stats	421
5.12.2. Линейная и полиномиальная регрессии с помощью функции fit	421
5.12.3. Регрессия для функции ряда переменных	423
5.11.4. Линейная регрессия общего вида	423

5.12.5. О нелинейной регрессии с помощью функции fit	424
5.12.6. Сплайновая регрессия с помощью функции BSplineCurve	425
5.12.7. Функции регрессии пакета Statistics в Maple 10/11	425
5.12.8. Нелинейная регрессия в пакете Statistics в Maple 10/11	426
5.13. Работа с функциями двух переменных	427
5.13.1. Maplet-инструмент для работы с функциями двух переменных	427
5.13.2. Демонстрация разложения в ряд Тейлора функции двух переменных	428
5.13.3. Демонстрация вычисления градиента функции двух переменных	429
5.13.4. Демонстрация вычисления производной в заданном направлении	429
5.13.5. Демонстрация приближенного вычисления интеграла	431
5.13.6. Маплет-демонстрация сечения поверхности	431

Урок 6. Линейная алгебра, оптимизации и регрессии ...433

6.1. Основные операции линейной алгебры	434
6.1.1. Основные определения линейной алгебры	434
6.1.2. Системы линейных уравнений и их матричная форма	436
6.1.3. Матричные разложения	437
6.1.4. Элементы векторов и матриц	437
6.1.5. Преобразование списков в векторы и матрицы	438
6.1.6. Операции с векторами	439
6.1.7. Операции над матрицами с численными элементами	439
6.1.8. Символьные операции с матрицами	440
6.2. Пакет линейной алгебры linalg системы	443
6.2.1. Состав пакета linalg	443
6.2.2. Интерактивный ввод матриц	446
6.2.3. Основные функции для задания векторов и матриц	447
6.2.4. Работа с векторами и матрицами	447
6.2.5. Решение систем линейных уравнений	449
6.2.6. Визуализация матриц	451
6.3. Работа с пакетом LinearAlgebra и алгоритмами NAG	452
6.3.1. Назначение и загрузка пакета LinearAlgebra	452
6.3.2. Примеры матричных операций с применением пакета LinearAlgebra	453
6.3.3. Методы решения систем линейных уравнений средствами пакета LinearAlgebra	455
6.3.4. Решение системы линейных уравнений методом LU-декомпозиции	455
6.3.5. Решение системы линейных уравнений методом QR-декомпозиции	457
6.3.6. Решение системы линейных уравнений методом декомпозиции Холецки	458
6.3.7. Одновременное решение нескольких систем уравнений	460
6.4. Интеграция Maple с MATLAB	461
6.4.1. Краткие сведения о MATLAB	461
6.4.2. Загрузка пакета расширения Matlab	461
6.4.3. Типовые матричные операции пакета расширения Matlab	463
6.5. Линейная оптимизация и линейное программирование	464
6.5.1. Постановка задачи линейного программирования	464
6.5.2. Обзор средств пакета simplex	465
6.5.3. Переопределенные функции maximize и minimize	466
6.5.4. Прочие функции пакета simplex	467
6.6. Пакет оптимизации Optimization	469
6.6.1. Доступ к пакету Optimization и его назначение	469

6.6.2. Работа с функциями Minimize и Maximize.....	471
6.6.3. Линейное программирование – LPSolve.....	472
6.6.4. Квадратичное программирование – QPSolve	473
6.6.5. Нелинейное программирование – NLPsolve	474
6.6.6. Работа с функцией импорта данных из файлов – ImportMPC	475
6.6.7. Нелинейная регрессия.....	475
6.6.8. Маплет-оптимизация с помощью функции Interactive	475
6.7. Новые средства оптимизации Maple 10/11.....	477
6.7.1. Нелинейное программирование с ограничениями в Maple 10/11	477
6.7.2. Нелинейный метод наименьших квадратов в Maple 10/11	477
6.7.3. Глобальная оптимизация и пакет Global Optimization Toolbox.....	478
6.7.4. Применение ассистента оптимизации Maple 10/11.....	478
6.7.5. Применение ассистента приближения данных Maple 10/11	481

Урок 7. Решение дифференциальных уравнений483

7.1. Введение в решение дифференциальных уравнений	484
7.1.1. Дифференциальные уравнения первого порядка.....	484
7.1.2. Решение дифференциального уравнения радиоактивного распада	484
7.1.3. Модели популяций Мальтуса и Ферхюльса-Пирла	485
7.1.4. Системы дифференциальных уравнений	486
7.1.5. Сведение ДУ высокого порядка к системам ОДУ первого порядка	487
7.1.6. Решение задачи на полет камня.....	487
7.1.7. Классификация дифференциальных уравнений.....	489
7.1.8. Функция решения дифференциальных уравнений dsolve.....	490
7.1.9. Уровни решения дифференциальных уравнений	493
7.2. Примеры решения дифференциальных уравнений	493
7.2.1. Примеры аналитического решения ОДУ первого порядка.....	493
7.2.2. Полет тела, брошенного вверх.....	495
7.2.3. Поведение идеального гармонического осциллятора	496
7.2.4. Дополнительные примеры решения дифференциальных уравнений второго порядка.....	496
7.2.5. Решение систем дифференциальных уравнений	497
7.2.6. Модель Стритера-Фелпса для динамики кислорода в воде	497
7.3. Специальные средства решения дифференциальных уравнений ...	499
7.3.1. Численное решение дифференциальных уравнений.....	499
7.3.2. Дифференциальные уравнения с кусочными функциями	502
7.3.3. Структура неявного представления дифференциальных уравнений – DESol.....	504
7.4. Инструментальный пакет решения дифференциальных уравнений DEtools	504
7.4.1. Средства пакета DEtools	504
7.4.2. Консультант по дифференциальным уравнениям.....	505
7.4.3. Основные функции пакета DEtools	506
7.4.4. Дифференциальные операторы и их применение	511
7.5. Графическая визуализация решений дифференциальных уравнений	512
7.5.1. Применение функции odeplot пакета plots.....	512
7.5.2. Функция DEplot из пакета DEtools	513
7.5.3. Решение системы дифференциальных уравнений модели Лотки-Вольтера	515

7.5.4. Функция DEplot3d из пакета DEtools.....	516
7.5.5. Графическая функция dfieldplot.....	517
7.5.6. Графическая функция phaseportrait.....	518
7.6. Углубленный анализ дифференциальных уравнений.....	520
7.6.1. Задачи углубленного анализа ДУ.....	520
7.6.2. Проверка ДУ на автономность.....	521
7.6.3. Контроль уровня вывода решения ДУ.....	521
7.6.4. Приближенное полиномиальное решение дифференциальных уравнений.....	523
7.7. Решение дифференциальных уравнений специального вида.....	524
7.7.1. Определение жестких систем дифференциальных уравнений.....	524
7.7.2. Примеры решения жестких систем дифференциальных уравнений.....	525
7.7.3. Пример решения системы жестких дифференциальных уравнений химической кинетики.....	526
7.7.4. Решение дифференциального уравнения Ван-Дер Поля.....	528
7.7.5. Решение дифференциальных уравнений с двумя краевыми условиями.....	528
7.8. Решение дифференциальных уравнений с частными производными.....	530
7.8.1. Функция pdsolve.....	530
7.8.2. Инструментальный пакет расширения PDEtools.....	531
7.8.3. Примеры решения дифференциальных уравнений с частными производными.....	532
7.8.4. Функция PDEplot пакета DEtools.....	534
7.8.5. Примеры применения функции PDEplot.....	534
7.9. Сложные колебания в нелинейных системах и средах.....	536
7.9.1. Пример нелинейной системы и моделирование колебаний в ней.....	536
7.9.2. Фазовый портрет на плоскости.....	537
7.9.3. Фазовые портреты в пространстве.....	537
7.9.4. Распространение волн в нелинейной среде.....	539
7.10. Интерактивное решение дифференциальных уравнений.....	540
7.10.1. Средства интерактивного решения дифференциальных уравнений.....	540
7.10.2. Примеры интерактивного решения дифференциальных уравнений.....	540
7.11. Анализ линейных функциональных систем.....	543
7.11.1. Назначение пакета LinearFunctionalSystems.....	543
7.11.2. Тестовые функции пакета LinearFunctionalSystems.....	544
7.11.3. Функции решения линейных функциональных систем.....	544
7.11.4. Вспомогательные функции.....	544
7.12. Новые возможности Maple 10/11 в решении дифференциальных уравнений.....	545
7.12.1. Средства Maple 10/11 для аналитического решения дифференциальных уравнений.....	545
7.12.2. Средства Maple 10/11 численного решения дифференциальных уравнений.....	547
7.12.3. Новый графический решатель дифференциальных уравнений.....	547
Урок 8. Графика системы Maple	549
8.1. Двумерная графика.....	550
8.1.1. Введение в двумерную графику.....	550

8.1.2. Функция plot для построения двумерных графиков	550
8.1.3. Управление стилем и цветом линий двумерных графиков	553
8.1.4. Графики функций с разрывами	554
8.1.5. Графики нескольких функций на одном рисунке	555
8.1.6. Графики функций, построенные точками	556
8.2. Специальные типы двумерных графиков	556
8.2.1. Графики функций, заданных своими именами	556
8.2.2. Графики функций, заданных процедурами	557
8.2.3. Графики функций, заданных функциональными операторами	558
8.2.4. Графики функций, заданных параметрически	558
8.2.5. Графики функций в полярной системе координат	559
8.3. Построение трехмерных графиков	560
8.3.1. Функция plot3d	560
8.3.2. Параметры функции plot3d	561
8.3.3. Построение поверхностей с разными стилями	562
8.3.4. Построение фигур в различных системах координат	564
8.3.5. Графики параметрически заданных поверхностей	565
8.3.6. Масштабирование трехмерных фигур и изменение углов их обзора	565
8.3.7. Занимательные фигуры – трехмерные графики	568
8.3.8. Построение ряда трехмерных фигур на одном графике	568
8.4. Работа с графическими структурами	569
8.4.1. Работа с графическими структурами двумерной графики	569
8.4.2. Работа с графическими структурами трехмерной графики	570
8.5. Применение графики пакета plots	573
8.5.1. Пакет plots и его возможности	573
8.5.2. Построение графиков функций в полярной системе координат	576
8.5.3. Импликативная графика	576
8.5.4. Построение графиков линиями равного уровня	577
8.5.5. График плотности	579
8.5.6. Двумерный график векторного поля	580
8.5.7. Трехмерный график типа implicitplot3d	580
8.5.8. Графики в разных системах координат	580
8.5.9. Графики типа трехмерного поля из векторов	582
8.5.10. Контурные трехмерные графики	583
8.5.11. Визуализация сложных пространственных фигур	583
8.5.12. Новая функция сравнения двух зависимостей от комплексного аргумента	587
8.6. Динамическая графика	588
8.6.1. Простая анимация двумерных графиков	588
8.6.2. Проигрыватель анимированной графики	588
8.6.3. Построение трехмерных анимационных графиков	589
8.6.4. Анимация с помощью параметра insequence	590
8.7. Графика пакета plottools	591
8.7.1. Примитивы пакета plottools	591
8.7.2. Применение двумерных примитивов пакета plottools	592
8.7.3. Построение стрелок	592
8.7.4. Построение диаграммы Смита	594
8.7.5. Применение трехмерных примитивов пакета plottools	594
8.7.6. Построение графиков из множества фигур	596
8.7.7. Анимация двумерной графики в пакете plottools	598

8.7.8. Анимация трехмерной графики в пакете plottools	599
8.8. Расширенные средства графической визуализации	599
8.8.1. Построение ряда графиков, расположенных по горизонтали	599
8.8.2. Конформные отображения на комплексной плоскости	600
8.8.3. Построение сложных фигур в полярной системе координат	600
8.8.4. Построение сложных фигур имплективной графики.....	601
8.8.5. Визуализация поверхностей со многими экстремумами.....	603
8.9. Визуализация решений неравенств и итерационных уравнений.....	604
8.9.1. Визуализация решения систем неравенств	604
8.9.2. Иллюстрация итерационного решения уравнения $f(x) = x$	605
8.9.3. Визуализация ньютоновских итераций в комплексной области	607
8.10. Визуализация геометрических построений	607
8.10.1. Визуализация теоремы Пифагора.....	607
8.10.2. Визуализация построения касательной и перпендикуляра	609
8.10.3. Визуализация вычисления определенных интегралов.....	609
8.11. Расширенная техника анимации	610
8.11.1. Анимация разложения функции в ряд Тейлора	610
8.11.2. Анимация разложения импульса в ряд Фурье	610
8.11.3. Визуализация всех фаз анимации разложения импульса в ряд Фурье.....	612
8.11.4. Наблюдение кадров анимации поверхности	613
8.11.5. Другие формы применения функций анимации	614
8.12. Некоторые другие возможности графики	615
8.12.1. Смена осей координат, масштабирование и сдвиг графиков	615
8.12.2. Построение стрелок в пространстве	616
8.12.3. Построение сложных комбинированных графиков	616
8.12.4. Визуализация дифференциальных параметров кривых	617
8.12.5. Анимация колебаний мембраны.....	618
8.13. Визуализация поверхностей и параметров их полей	620
8.13.1. Визуализация экстремумов поверхности.....	620
8.13.2. Визуализация поля функции и вихрей	621
8.13.3. Визуализация поверхности и дивергенции ее поля	621
8.13.4. Визуализация теоремы Стокса	623
8.13.5. Визуализация поля электрических зарядов	623
8.14. Новые средства графики Maple 11/12/13/14	624
8.14.1. Новые средства двумерной графики в Maple	624
8.14.2. Новые средства трехмерной графики в Maple	626
8.14.3. Массивы разнотипных графиков.....	628
8.14.4. Графические наброски.....	628
8.14.5. Научная и инженерная графика в Maple 13/14.....	631

Урок 9. Пакеты расширения Maple специального

назначения.....635

9.1. Пакет планиметрии geometry.....	636
9.1.1. Набор функций пакета geometry	636
9.1.2. Пример применения расчетных функций пакета geometry	636
9.1.3. Визуализация геометрических объектов с помощью пакета geometry.....	638
9.2. Пакет стереометрии geom3d	640
9.2.1. Набор функций пакета geom3d	640
9.2.2. Пример применения пакета geom3d	641

9.3. Пакет функций теории графов networks	641
9.3.1. Набор функций пакета networks	641
9.3.2. Примеры применения пакета networks.....	643
9.3.3. Получение информации о графе	646
9.4. Математические пакеты расширения специального назначения....	647
9.4.1. Инструментальный пакет для линейных рекуррентных уравнений – LREtools.....	647
9.4.2. Пакет функций дифференциальных форм diffforms	647
9.4.3. Пакет работы с тензорами tensor	648
9.4.4. Пакет Domains	650
9.4.5. Пакет алгебры линейных операторов – Ore_algebra	651
9.4.6. Пакет для работы с рациональными производящими функциями – genfunc.....	651
9.4.7. Пакет операций для работы с конечными группами – group	651
9.4.8. Пакет средств симметрии Ли – liesymm	651
9.4.9. Пакет команд для решения уравнений SolveTools.....	651
9.4.10. Пакет для работы с таблицами – Spread	652
9.4.11. Пакет линейных операторов LinearOperators	652
9.4.12. Пакет для работы с массивами ArrayTools	652
9.4.13. Пакет анализа ошибок научных вычислений ScientificErrorAnalysis	653
9.5. Пакеты расширения системного характера	653
9.5.1. Пакеты генерации кодов – codegen и CodeGeneration	653
9.5.2. Пакет создания контекстных меню context	655
9.5.3. Пакет организации многопроцессорной работы – process.....	655
9.5.4. Пакет поддержки стандарта MathML	655
9.5.5. Пакет XMLTools	656
9.5.6. Пакет StringTools для работы со строками.....	657
9.5.7. Пакет создания внешних программ ExternalCalling	657
9.5.8. Пакет работы с документами Worksheet	657
9.6. Пакет расширения Student Package	658
9.6.1. Состав пакета Student Package и его идеология.....	658
9.6.2. Подпакет линейной алгебры Linear Algebra	658
9.6.3. Средства визуализации векторных и матричных понятий.....	660
9.6.4. Визуализация метода наименьших квадратов.....	663
9.6.5. Подпакет вычислений для первокурсников Calculus1	666
9.6.6. Подпакет вычислений Precalculus	669
9.6.7. Другие возможности и особенности пакета Student Package	670
9.7. Пакет преобразования выражений Mathematica в выражения Maple	670
9.7.1. О системе Mathematica	670
9.7.2. Транслятор Mathematica-выражений	671
9.7.3. Maplet преобразования кодов Mathematica в коды Maple	673
9.7.4. Подпакет функций Mma	674
9.8. Пакет теоретической физики Physic системы Maple 11	674
Урок 10. Основы программирования	675
10.1. Задание функций	676
10.1.1. Задание функции пользователя	676
10.1.2. Конструктор функций unapply	677
10.1.3. Визуализация функции пользователя	677

10.1.4. Импликативные функции	677
10.2. Управляющие структуры	679
10.2.1. Условные выражения	679
10.2.2. Циклы for и while	681
10.2.3. Вложенные циклы и задание с их помощью матриц	683
10.2.4. Упрощенная конструкция циклов	684
10.2.5. Операторы пропуска и прерывания циклов	684
10.3. Процедуры и процедуры-функции	685
10.3.1. Простейшие процедуры	685
10.3.2. Графические процедуры	686
10.3.3. Просмотр кодов процедур	688
10.3.4. Оператор возврата значения RETURN	689
10.3.5. Статус переменных в процедурах и циклах	689
10.3.6. Объявления переменных локальными с помощью оператора local	689
10.3.7. Объявления переменных глобальными с помощью слова global	690
10.3.8. Функция вывода сообщений об ошибках ERROR	691
10.3.9. Ключи в процедурах	692
10.3.10. Ключ remember	692
10.3.11. Ключ builtin	693
10.3.12. Ключ system	694
10.3.13. Ключи operator и arrow	694
10.3.14. Ключ trace	694
10.3.15. Ключ copyright	694
10.3.16. Общая форма задания процедуры	695
10.4. Средства отладки программ	695
10.4.1. Средства контроля и отладки процедур	695
10.4.2. Преобразование программных кодов	699
10.4.3. Работа с отладчиком программ	699
10.5. Файловые операции с программными модулями	701
10.5.1. Считывание и запись программных модулей	701
10.5.2. Создание своей библиотеки процедур	702
10.6. Программирование символьных операций	705
10.6.1. Реализация итераций Ньютона в символьном виде	705
10.6.2. Вычисление интеграла по известной формуле	708
10.6.3. Вложенные процедуры и интегрирование по частям	710
10.7. Дополнительные возможности Maple-языка	711
10.7.1. Переназначение определений	711
10.7.2. Модули	712
10.7.3. Макросы	713
10.7.4. Внешние вызовы	714
10.7.5. Вызов внешних процедур, написанных на языке C	715
10.7.6. Стек и очереди	715
10.8. Визуально-ориентированное программирование интерфейса	717
10.8.1. Вызов пакета Maplets	717
10.8.2. Примеры создания визуально-ориентированного интерфейса	717
10.8.3. Управление цветом	719
10.9. Моделирование RLC-цепи с применением маплет-интерфейса ...	721
10.9.1. Подготовка процедуры моделирования и тестового примера	721
10.9.2. Подготовка окна маплет-интерфейса	721

10.9.3. Организация связи между процедурой моделирования и маплет-интерфейсом	723
10.9.4. Моделирование RLC-цепи в окне маплет-интерфейса	723
10.10. Визуально-ориентированное проектирование маплетов в Maple	726
10.10.1. Ассистент по проектированию маплетов Maple Builder	726
10.10.2. Пример проектирования маплета – окна с текстовой надписью	727
10.10.3. Пример проектирования маплета – окна с графиком функции	728
10.10.4. Справка по проектированию маплетов	728
10.11. Компиляция численных процедур	730

Урок 11. Maple в математическом моделировании731

11.1. Исследование и моделирование линейных систем	732
11.1.1. Демпфированная система второго порядка	732
11.1.2. Система с малым демпфированием под внешним синусоидальным воздействием	734
11.1.3. Слабо демпфированная система под воздействием треугольной формы	735
11.1.4. Слабо демпфированная система при произвольном воздействии	737
11.1.5. Улучшенное моделирование свободных колебаний	740
11.1.6. Улучшенное моделирование колебаний при синусоидальном воздействии	741
11.1.7. Улучшенное моделирование колебаний при пилообразном воздействии	743
11.1.8. Анализ и моделирование линейных систем операторным методом	745
11.2. Моделирование динамических задач и систем	748
11.2.1. Расчет траектории камня с учетом сопротивления воздуха	748
11.2.2. Движение частицы в магнитном поле	750
11.2.3. Разделение изотопов	753
11.2.4. Моделирование рассеивания альфа-частиц	755
11.3. Моделирование и расчет электронных схем	757
11.3.1. Нужно ли применять Maple для моделирования и расчета электронных схем?	757
11.3.2. Применение интеграла Дюамеля для расчета переходных процессов	758
11.3.3. Малосигнальный анализ фильтра-усилителя на операционном усилителе	759
11.3.4. Проектирование цифрового фильтра	762
11.3.5. Моделирование цепи на туннельном диоде	766
11.3.6. Моделирование детектора амплитудно-модулированного сигнала	769
11.4. Моделирование систем с заданными граничными условиями	772
11.4.1. Распределение температуры стержня с запрессованными концами	772
11.4.2. Моделирование колебаний струны, зажатой на концах	774
11.5. Моделирование в системе Maple + MATLAB	777
11.5.1. Выделение сигнала на фоне шумов	777
11.5.2. Моделирование линейного осциллятора	778
11.6. Моделирование эффекта Доплера	779
11.6.1. Визуализация волн от источника звука	779
11.6.2. Звуковые волны от неподвижного источника	780

11.6.3. Случай движения источника звука со скоростью, меньшей скорости звука	781
11.6.4. Случай движения источника звука со скоростью света	781
11.6.5. Случай движения источника звука со скоростью, большей скорости звука	782
11.6.6. Случай движения источника звука с переменной скоростью	782
11.7. Применение дискретных волновых преобразований	783
11.7.1. Состав пакета расширения по дискретным преобразованиям	783
11.7.2. Прямое и обратное Фурье-преобразования.....	784
11.7.3. Функции пакета DiscreteTransforms для работы с вейвлетами.....	785
11.7.4. Примеры задания и представления вейвлетов.....	786
11.7.5. Примеры программирования в технике вейвлет-преобразований	787
11.7.6. Примеры применения вейвлет-преобразований	788
11.8. Новые средства имитационного моделирования в Maple	791
11.8.1. Пакет расширения MapleToolbox для MATLAB	791
11.8.2. Пакет расширения MapleSim	793
11.8.3. Примеры блочного моделирования с применением пакета MapleSim ..	794
Список литературы	797