



Дьяконов В. П.



MATLAB **R2006/2007/2008** **Simulink 5/6/7**

Основы применения

Самое подробное описание последних версий MATLAB

Новые возможности Simulink

ОБШИРНАЯ ПОДБОРКА ПРИМЕРОВ

2-е издание, переработанное и дополненное

**Библиотека
Профессионала**

УДК 621.396.218
ББК 32.884.1
Д93

В. П. Дьяконов
Д93 MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2010. — 800 с.: ил. — (Серия «Библиотека профессионала»).

ISBN 978-5-91359-042-8

Книга является вторым изданием первого тома 5-томной серии книг по системе MATLAB+Simulink. Впервые в одной книге описаны новейшие версии этой системы MATLAB R2006*/2007*/2008 и ее главного расширения Simulink (версии 5, 6 и 7), выполняющего блочное ситуационное моделирование. Эти системы лидируют в численных расчетах и в математическом, блочном имитационном и ситуационном визуально-ориентированном моделировании различных систем и устройств. Характерны высочайшей степенью визуализации результатов работы. Служат мощной операционной средой для применения и разработки сотен пакетов расширения по новейшим направлениям науки и техники. Для инженеров, научных работников, студентов и преподавателей университетов и вузов. Книга подготовлена при поддержке разработчика систем — корпорации The MathWorks, Inc. (США).

УДК 621.396.218
ББК 32.884.1

КНИГА — ПОЧТОЙ

Книги издательства «СОЛОН-ПРЕСС» можно заказать наложенным платежом (оплата при получении) по фиксированной цене. Заказ оформляется одним из двух способов:

1. Послать открытку или письмо по адресу: 123242, Москва, а/я 20.
2. Оформить заказ можно на сайте www.solon-press.ru в разделе «Книга — почтой».
3. Заказать книги по телефону (495) 254-44-10, (499) 252-36-96.

Бесплатно высылается каталог издательства по почте. Для этого вышлите конверт с маркой по адресу, указанному в п. 1.

При оформлении заказа следует правильно и полностью указать адрес, по которому должны быть высланы книги, а также фамилию, имя и отчество получателя. Желательно дополнительно указать свой телефон и адрес электронной почты.

Через Интернет вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-ПРЕСС», считав его с адреса www.solon-press.ru/kat.doc

Интернет-магазин размещен на сайте www.solon-press.ru

По вопросам приобретения обращаться:

ООО «АЛЬЯНС-КНИГА КТК»

Тел: (495) 258-91-94, 258-91-95, www.aliants-kniga.ru

Сайт издательства СОЛОН-ПРЕСС: www.solon-press.ru.

E-mail: solon-avtor@coba.ru

ISBN 978-5-91359-042-8

© Макет и обложка «СОЛОН-ПРЕСС», 2010
© В. П. Дьяконов, 2010

Глава 1

НАЧАЛО РАБОТЫ С MATLAB

Эта вводная глава является кратким курсом по базовой системе MATLAB. Она кратко описывает интерфейс и возможности системы в части выполнения основных научно-технических вычислений и расчетов и их графической визуализации. Ее материал справедлив для любой версии MATLAB из числа объявленных в названии книги.

1.1. Назначение и особенности систем MATLAB

1.1.1. Назначение системы MATLAB

MATLAB — одна из старейших, тщательно проработанных и проверенных временем систем автоматизации математических расчетов, построенная на расширенном представлении и применении матричных операций. Это нашло отражение в названии системы — MATrix LABoratory — *матричная лаборатория*. Применение матриц [60—65], как основных объектов системы, и оператора задания последовательностей: способствует уменьшению числа циклов, которые очень распространены при выполнении матричных вычислений на обычных языках программирования высокого уровня и облегчению реализации параллельных вычислений.

Матрицы широко применяются в сложных математических расчетах, например, при решении задач линейной алгебры и математического моделирования статических и динамических систем и устройств. Они являются основой автоматического составления и решения уравнений состояния динамических объектов и систем. Примером программы, выполняющей это, может служить основное расширение MATLAB — Simulink [38, 42]. Оно существенно повышает интерес к системе MATLAB, вобравшей в себя лучшие достижения в области быстрого решения матричных задач за послевоенное время.

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

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

Объем документации по пакетам расширения Toolboxes и Blocksets составляет десятки тысяч страниц. Поэтому эта книга описывает достаточно полно только наиболее важные из пакетов расширения, получившие признание у наших пользователей. Описаны также многие новые пакеты. А в этой главе даны основы работы с базовой системой MATLAB и основным пакетом расширения Simulink. Это позволит читателю уверенно пользоваться описанными далее пакетами расширения.

1.1.2. Особенности версии MATLAB 7 + Simulink 6

Все описанные в данной книге версии системы MATLAB принадлежат к семейству программных продуктов MATLAB 7.*. Однако последние реализации приобрели двойное обозначение и помимо приведенного обозначения стали обозначаться годом разработки и буквенным индексом: так MATLAB R2006/2006a/2006b/2007a/2007b/2008a это тоже самое, что MATLAB 7.0—7.6. Далее, если не оговорена принадлежность к той или иной версии (подверсии) имеется ввиду любая из них. Все описанные версии практически идентичны по интерфейсу и набору операторов и функций ядра. Отдельные отличия оговариваются особо. Команда `ver` выводит данные о текущей версии и список с полным набором входящих в нее пакетов расширения.

В MATLAB 7 введен ряд серьезных усовершенствований в сравнении с предшествующими версиями, например MATLAB 6.*. Так, улучшена работа с одновременно с множеством документов, усовершенствованы редактор массивов и браузер рабочего пространства, расширены возможности редактора М-файлов (теперь в нем можно создавать программы не только в М-кодах, но и на языках HTML, Fortran, C/C++ и Java), введена целочисленная арифметика для больших целочисленных множеств, повышена скорость выполнения задач линейной алгебры, быстрого преобразования Фурье, фильтрации для больших массивов, улучшены решатели дифференциальных уравнения, введен ряд новых средств графики и т. д.

Начиная с версии MATLAB 6.5 в систему был введен *ускоритель времени исполнения* JIT (Just-In-Accelerator). Он резко (порой в сотни раз) ускоряет действие операций с данными класса NUMERIC (кроме Single), логических и строковых операций. Особенно эффективно выполнение матричных операций над полными матрицами и циклами. Разреженные массивы и матрицы ускорителем JIT не обслуживаются.

В MATLAB 7.* введены функции быстрого преобразования Фурье (FFT), использующие новую версию библиотеки FFTW3, ускорены загрузка и сохранение текстовых файлов, обеспечена более полная поддержка Windows XP, высвобождающая для MATLAB дополнительный 1 Гбайт памяти данных. Существенно усовершенствованы средства внешних интерфейсов и доступа к данным. Встроенный компилятор MATLAB Compiler 4 полностью поддерживает язык MATLAB, накладывая значительно меньше ограничений на возможность компиляции приложений.

Среда разработки MATLAB 7 также существенно улучшена. В частности обновлен рабочий стол, переработаны редакторы массивов (Array Editor) и браузер рабочего пространства (Workspace Browser), введено новое средство Directory Reports, добавлена возможность запуска на выполнение отдельных фрагментов М-кода прямо из редактора и автоматизировано оформление М-кода в виде документов HTML, Word и LaTeX.

Для MATLAB 7 было разработано 12 новых пакетов расширения:

- Bioinformatics Toolbox 1.1;
- Embedded Target for TI C2000(tm) DSP;
- Fixed-Point Toolbox;
- Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox 1.0.1;
- Link for ModelSim;
- Simulink Control Design;
- Simulink Parameter Estimation;
- Simulink Verification and Validation;
- Filter Design HDL Coder;
- OPC Toolbox;
- RF Blockset;
- RF Toolbox.

В состав MATLAB 7.* вошло также около шести десятков фирменных пакетов расширения (множество пакетов создано сторонними фирмами). Существенно переработаны 27 пакетов расширения и среди них Communications Blockset и Communications Toolbox, Database Toolbox DSP Blockset (теперь он переименован в Signal Processing Blockset), Filter Design Toolbox, Fixed-Point Blockset, Mapping Toolbox, Optimization Toolbox, Wavelet Toolbox и др.

Столь внушительный список новинок и улучшений в системе MATLAB 7 + Simulink 6 свидетельствует о том, что мы имеем действительно новую реализацию системы, хотя, в рамках задач книги как самоучителя, на этих улучшениях заикливаться не стоит. В данной книге описание составлено так, что его большая часть относится к версиям систем MATLAB 7.* + Simulink 6 и MATLAB 6.* + Simulink 5.

1.1.3. Особенности реализации версии MATLAB 7 SP1

Уже в сентябре 2004 г. была объявлена к выпуску обновленная версия MATLAB 7 с сервисным пакетом Service Pack 1 для этой версии. На российский рынок она поступила в январе 2005 г. В самой системе MATLAB изменения незначительны:

- улучшен интерфейс пользователя;
- осуществлена расширенная поддержка чисел с одинарной точностью;
- введена новая функция `ordeig` для вычисления собственных значений квазитреугольных матриц;
- введены новые функции для преобразования наборов строковых данных;
- введены новые опции для функции `deffun`;
- устранены проблемы с загрузкой OpenGL;
- улучшен контроль за выводом комментариев;
- расширена поддержка Web сервиса (SOAP и WSDL).

Более важным является введение двух новых пакетов расширения:

- SimDriveline — расширяет возможности Simulink в моделировании механических систем;
- Video and Image Processing Blockset — расширяет возможности Simulink в моделировании, обработке и представлении изображений и видеопотоков.

Второй из этих папкетов существенно расширяет возможности работы с изображениями и видеопотоками. Кроме того, нельзя не отметить выход новой версии главного пакета расширения по обработке изображений — Image Processing Toolbox 5.0.1.

1.1.4. Особенности реализации версии MATLAB 7 SP2

Новейшая версия MATLAB 7 SP2 не содержит «революционных» изменений. Из новых средств появились:

- Distributed Computing Toolbox MATLAB;
- Distributed Computing Engine.

Новый Toolbox Distributed Computing Toolbox MATLAB работает совместно с Distributed Computing Engine и эти средства уже были доступны для пополнения MATLAB 7 SP1 из Интернета. Эти продукты обеспечивают доступ к распределенным вычислениям в многопроцессорных кластерных компьютерных вычислениях. К сожалению, такие системы доступны лишь избранным, а потому детального описания в данной книге не заслуживают.

Из новых возможностей версии R14SP2 стоит отметить:

- обработку временных рядов, предложенную на уровне бета-тестирования;
- новый синтаксис и новые возможности работы с классами;
- новый компилятор MATLAB Compiler 4.2, поддерживающий компиляцию для операционных систем Windows, Linux, Solaris, HP-UX и Linux x86-64;
- улучшенное диалоговое окно предпочтений (Preferences);
- расширение команды Go To условного перехода;
- расширенный доступ к справке Help;
- улучшенные средства регистрации и обзора файлов;
- возможность считывания функцией textscan не только текстов, но и файлов;
- расширенные возможности функции xlsread;
- два новых формата отображения чисел с плавающей точкой в инженерной нотации (short eng и long eng).

Серьезной доработке и улучшению подверглись следующие расширения группы Toolbox:

- Bioinformatics Toolbox;
- Communications Toolbox;
- Control System Toolbox;
- Data Acquisition Toolbox;
- Filter Design HDL Coder;
- Filter Design Toolbox;
- Fixed-Point Toolbox;
- Image Acquisition Toolbox;
- Instrument Control Toolbox;
- Link for Code Composer Studio Development Tools;
- Link for ModelSim;
- Mapping Toolbox;
- OPC Toolbox;
- RF Toolbox;
- Robust Control Toolbox;
- Signal Processing Toolbox;
- Statistics Toolbox;
- Virtual Reality Toolbox.

Модернизация пакета расширения Simulink 6 не существенная — расширились возможности виртуального осциллографа, широко используемая в моделях, и подверглись доработке некоторые пакеты из «ящика» Blockset. Учитывая сказанное в дальнейшем мы не будем разделять реализации MATLAB + Simulink с сервисными пакетами Service Pack 1 и Service Pack 2.

1.1.5. Новые возможности MATLAB R2006/2007/2008

Последние версии MATLAB R2006/R2007/2008 обеспечивает следующие новые возможности:

- большое число (до 82 у новейшей версии MATLAB R2007a) существенно доработанных и новых пакетов расширения системы в различных областях науки и техники;
- поддержка многопоточных (Hyper Threading) вычислений в математически функциях;
- поддержка ядром системы многоядерных (multicore) микропроцессоров;
- выполнение до четырех параллельных алгоритмов;
- новый Simulink 7 (в версии MATLAB 2007b/2008a);
- поддержка распределенных вычислений на рабочем столе;
- ускорение за счет компиляции вычислений статистики, выполняемых в формате чисел с плавающей точкой;
- система управления ToolboxGeneration нелинейных моделей в расширении по идентификации систем;
- повышение скорости работы генетических алгоритмов и алгоритмов прямого поиска в пакете расширения по ним.

Наибольший выигрыш по скорости счета новейшие реализации MATLAB дают при применении новейших ПК с 2- и 4-ядерными процессорами. Они пока довольно дороги. Видимо, учитывая высокую стоимость легальных программных продуктов MATLAB, не имеет смысла спешить с заменой установленных версий на более новые. Исходя из этого, последующий материал дан так, что он вполне пригоден как для новейших версий MATLAB 2007a/ R2007b, так и для куда более распространенных предшествующих реализаций MATLAB R2007*/2008a и даже более ранних. В рамках направленности данной книги детали различия разных версий MATLAB не являются принципиальными и подробно не обсуждаются.

Для получения полной информации о текущей версии MATLAB достаточно исполнить команду `ver`. Ниже представлен результат этого для MATLAB R2008a:

```
>> ver

MATLAB Version 7.6.0.324 (R2008a)
MATLAB License Number: *****
Operating System: Microsoft Windows XP Version 5.1 (Build 2600: Service
Pack 2)
Java VM Version: Java 1.6.0 with Sun Microsystems Inc. Java HotSpot(TM)
Client VM mixed mode

MATLAB                               Version 7.6           (R2008a)
Simulink                             Version 7.1           (R2008a)
Communications Blockset              Version 4.0           (R2008a)
Communications Toolbox               Version 4.1           (R2008a)
```

Control System Toolbox	Version 8.1	(R2008a)
Curve Fitting Toolbox	Version 1.2.1	(R2008a)
Filter Design Toolbox	Version 4.3	(R2008a)
Fixed-Point Toolbox	Version 2.2	(R2008a)
Fuzzy Logic Toolbox	Version 2.2.7	(R2008a)
Image Processing Toolbox	Version 6.1	(R2008a)
MATLAB Report Generator	Version 3.3	(R2008a)
Mapping Toolbox	Version 2.7	(R2008a)
Neural Network Toolbox	Version 6.0	(R2008a)
Optimization Toolbox	Version 4.0	(R2008a)
Partial Differential Equation Toolbox	Version 1.0.12	(R2008a)
RF Blockset	Version 2.2	(R2008a)
RF Toolbox	Version 2.3	(R2008a)
Robust Control Toolbox	Version 3.3.1	(R2008a)
Signal Processing Toolbox	Version 6.9	(R2008a)
SimMechanics	Version 2.7.1	(R2008a)
SimPowerSystems	Version 4.6	(R2008a)
Simscape	Version 2.1	(R2008a)
Simulink Fixed Point	Version 5.6	(R2008a)
Simulink Report Generator	Version 3.3	(R2008a)
Spline Toolbox	Version 3.3.4	(R2008a)
Stateflow	Version 7.1	(R2008a)
Statistics Toolbox	Version 6.2	(R2008a)
Symbolic Math Toolbox	Version 3.2.3	(R2008a)
System Identification Toolbox	Version 7.2	(R2008a)
Video and Image Processing Blockset	Version 2.5	(R2008a)
Virtual Reality Toolbox	Version 4.7	(R2008a)
Wavelet Toolbox	Version 4.2	(R2008a)

Команда выводит список всех пакетов расширения системы MATLAB с указанием их реализаций. Заметим, что из-за быстрого совершенствования пакетов расширения даже этот список не является окончательным и единственно верным. Он дан для реализации системы MATLAB R2008a. Кроме того, для каждой лицензии (номер лицензии из вывода удален ввиду его конфиденциального характера) при покупке MATLAB определены конкретные пакеты расширения (за каждый надо платить!), так что список может быть и существенно сокращенным.

1.2. Общие особенности матричных систем MATLAB

1.2.1. Интеграция с другими программными системами

С системой MATLAB могут интегрироваться такие популярные математические системы, как Mathcad, Maple и Mathematica [5—7]. Есть тенденция и к объединению математических систем с современными текстовыми процессорами. Так, новое средство последних версий MATLAB — Notebook — позволяет готовить документы в текстовом процессоре Word 95/97/2000/XP со вставками в виде документов MATLAB и результатов «живых» вычислений, представленных в численном, табличном или графическом виде.

В MATLAB задачи расширения системы решаются с помощью специализированных *пакетов расширения*, входящих в инструментальный «ящик» Toolboxes. Многие из них содержат специальные средства для интеграции с другими программами, поддержки объектно-ориентированного и визуального программирования, для генерации различных приложений.

Новые свойства системе MATLAB придала ее интеграция с программной системой Simulink, созданной для моделирования блочно заданных динамических систем и устройств. Базируясь на принципах визуально-ориентированного программирования, Simulink позволяет выполнять моделирование сложных устройств с высокой степенью достоверности и прекрасными средствами представления результатов. Помимо естественной интеграции с пакетами расширения Symbolic Math и Simulink, MATLAB интегрируется с десятками мощных пакетов расширения, обзорно описанных в первом томе данной серии книг.

В свою очередь, многие другие математические системы, например Mathcad и Maple, допускают установление объектных и динамических связей с системой MATLAB, что позволяет использовать в них эффективные средства MATLAB для работы с матрицами. Эта прогрессивная тенденция интегрирования компьютерных математических систем, несомненно, будет продолжена.

1.2.2. Ориентация на матричные операции

Напомним, что двумерный массив чисел или математических выражений принято называть *матрицей*. А одномерный массив называют *вектором*. Векторы могут быть двух типов: вектор-строка и вектор-столбец. Примеры векторов и матриц даны ниже:

$$[1 \ 2 \ 3 \ 4]$$

Вектор-строка из 4 элементов

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 5 & 6 & 7 & 8 \\ 9 & 8 & 7 & 6 \end{bmatrix}$$

Матрица размера 3 × 4

$$\begin{bmatrix} a & a + b & a + b/c \\ x & y * x & z \\ 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$$

Матрица с элементами разного типа

Векторы и матрицы характеризуются *размерностью* и *размером*. Размерность определяет структурную организацию массивов в виде строки (размерность 1),

страницы (размерность 2), куба (размерность 3) и т. д. Так что вектор является одномерным массивом, а матрица представляет собой двумерный массив с размерностью 2. MATLAB допускает задание и использование многомерных массивов, но в этой главе мы ограничимся только одномерными и двумерными массивами — векторами и матрицами.

Размер вектора — это число его элементов, а размер матрицы определяется числом ее строк m и столбцов n . Обычно размер матрицы указывают как mn . Матрица называется квадратной, если $m = n$, то есть число строк матрицы равно числу ее столбцов.

Векторы и матрицы могут иметь имена, например, V — вектор или M — матрица. В данной книге имена векторов и матриц набираются полужирным шрифтом. Элементы векторов и матриц рассматриваются как *индексированные переменные*, например:

- V_2 — второй элемент вектора V ;
- M_{23} — третий элемент второй строки матрицы M .

Интересно отметить, что даже обычные числа и переменные в MATLAB рассматриваются как матрицы размера 1×1 , что дает единообразные формы и методы проведения операций над обычными числами и массивами. Это также означает, что большинство вычислительных функций может работать с аргументами в виде векторов и матриц, вычисляя значения для каждого их элемента. Данная операция обычно называется *векторизацией* и обеспечивает упрощение записи операций, производимых одновременно над всеми элементами векторов и матриц, и существенное повышение скорости их выполнения.

1.2.3. Расширяемость системы

MATLAB — расширяемая система, и ее легко приспособить к решению нужных пользователю специфических классов задач. Ее огромное достоинство заключается в том, что это расширение достигается естественным путем и реализуется в виде так называемых m -файлов (с расширением $.m$), хранящихся на жестком диске.

Благодаря текстовому формату m -файлов пользователь может ввести в систему любую новую команду, оператор или функцию и затем пользоваться ими столь же просто, как и встроенными операторами или функциями. При этом, в отличие от таких языков программирования, как Бейсик, Си или Паскаль, не требуется никакого объявления этих новых функций. Это роднит MATLAB с языками Лого и Форт, имеющими словарную организацию операторов и функций и возможности пополнения словаря новыми определениями-словами. Но, поскольку новые определения в системе MATLAB хранятся в виде файлов на диске, это делает набор операторов и функций практически неограниченным.

В базовый набор слов системы входят спецзнаки, знаки арифметических и логических операций, арифметические, алгебраические, тригонометрические и некоторые специальные функции, функции быстрого преобразования Фурье и фильтрации, векторные и матричные функции, средства для работы с комплексными числами, операторы построения графиков в декартовой и полярной системах координат, трехмерных поверхностей и т. д. Словом, MATLAB предоставляет пользователю обширный набор готовых средств (большая часть из них — это внешние расширения в виде M -файлов).

Дополнительный уровень системы образуют ее *пакеты расширения*. Они позволяют быстро ориентировать систему на решение задач в той или иной предметной области: в специальных разделах математики, в физике и в астрономии, в об-

ласти нейронных сетей и средств телекоммуникаций, в математическом моделировании, проектировании событийно управляемых систем и т. д. Благодаря этому MATLAB обеспечивает высочайший уровень адаптации к решению задач конечного пользователя.

1.2.4. Мощные средства программирования

Система MATLAB с момента своего создания создавалась как мощный математико-ориентированный на технические вычисления язык программирования *высокого уровня*. И многие вполне справедливо рассматривали это как важное достоинство системы, свидетельствующее о возможности ее применения для решения новых, наиболее сложных математических задач.

MATLAB имеет *входной язык*, напоминающий Бейсик (с примесью средств Фортрана и Паскаля). Запись программ в системе традиционна и потому привычна для большинства пользователей компьютеров. К тому же система дает возможность редактировать программы с помощью любого, привычного для пользователя текстового редактора. Имеет она и собственный редактор с отладчиком. Входной язык MATLAB интерпретатор, но с помощью встроенного компилятора и подключаемого к системе языка программирования C возможно создание откомпилированных машинных кодов.

Язык системы MATLAB в части программирования математических вычислений намного богаче любого универсального языка программирования высокого уровня. Он реализует почти все известные средства программирования, в том числе объектно-ориентированное и визуальное программирование. Это дает опытным программистам необъятные возможности для самовыражения.

1.2.5. Визуализация и графические средства

В последнее время создатели математических систем уделяют огромное внимание *визуализации* всех стадий решения математических задач. Визуализация постановки задачи в MATLAB решается применением приложения Notebook и назначением именам функций достаточно ясных имен (идентификаторов). А визуализация результатов вычислений достигается применением обширных средств графики, в том числе анимационной, а также использованием (там, где это нужно) средств символьной математики.

Новые графические средства Handle Graphics (дескрипторная или описательная графика) позволяют создавать полноценные объекты графики высокого разрешения, как геометрического, так и цветового. Возможности этой графики поддерживаются *объектно-ориентированным программированием*, средства которого также имеются в языке программирования системы MATLAB. Применение дескрипторной (описательной) графики позволяет создавать и типовые элементы пользовательского интерфейса — кнопки, меню, информационные и инструментальные панели и т. д., то есть реализовать элементы *визуально-ориентированного программирования*.

Графики можно выводить в одно или в несколько окон. А в статьях и книгах формата Notebook, реализованных при совместной работе системы MATLAB с популярным текстовым процессором Word 95/97/2000/XP, графики могут располагаться вместе с текстом, формулами и результатами вычислений (числами, векторами и матрицами, таблицами и т. д.). В этом случае степень визуализации оказывается особенно высокой, поскольку документы класса Notebook по существу

являются превосходно оформленными электронными книгами с действующими (вычисляемыми) примерами.

В новые версии MATLAB введен также ряд средств на основе графического интерфейса пользователя (GUI — Graphical User Interface), привычного для операционных систем Windows 95/98/NT. Это панели инструментов, редактор и отладчик *m*-файлов, красочная демонстрация возможностей и т. д. Есть и возможность создавать свои средства пользовательского интерфейса.

1.3. Установка и файловая система MATLAB 7

1.3.1. Системные требования к установке

Новая версия системы MATLAB — весьма громоздкий программный комплекс, который требует до 1500—3500 Мбайт дисковой памяти (в зависимости от конкретной поставки, полноты справочной системы и числа устанавливаемых пакетов прикладных программ). Поэтому система MATLAB в зависимости от версии поставляется на 2—3 компакт-дисках (CD-ROM), а последние реализации уже на DVD.

Для успешной установки MATLAB 7 необходимы следующие минимальные средства:

- компьютер с микропроцессором не ниже Pentium и математическим сопроцессором, рекомендуются процессоры Pentium III, Pentium 4, Pentium M или AMD Athlon, Athlon XP Athlon MP (MATLAB 2007a,b поддерживает уже современные многоядерные процессоры, например Intel Core 2 Duo, а MATLAB R2007b/2008a и Core 2 Quad);
- устройство считывания компакт дисков (привод CD-ROM или DVD для установки), мышь, минимум как 8-разрядный графический адаптер и монитор, поддерживающие не менее 256 цветов;
- операционная система Windows XP/2000/NT (допускается Windows NT4 с сервис-пакетами 5 или 6a, а для новых реализаций Windows Vista);
- ОЗУ емкостью 256 Мбайт для минимального варианта системы (рекомендуется иметь память не менее 512 Мбайт и выше);
- до 3500 Мбайт дискового пространства при полной установке всех расширений и всех справочных систем (345 Мбайт при установке только MATLAB со справкой);
- свободный USB-порт для подключения ключа, открывающего доступ к системе.

Для использования расширенных возможностей системы нужны графический ускоритель, Windows-совместимые звуковая карта и принтер, текстовый процессор Microsoft Word 97/2000/XP для реализации Notebook, компиляторы языков Си/Си++ и/или ФОРТРАН для подготовки собственных файлов расширения и браузер Netscape Navigator 4.0 и выше или Microsoft Internet Explorer 5.0 и выше. Для просмотра файлов справочной системы в формате PDF нужна программа Adobe Reader или Adobe Acrobat 5.0 и выше.

Отличия между платформами, на которых может работать система MATLAB, в основном, связаны со скоростью выполнения операций, в особенности, при выводе трехмерной графики, при расчете сцены и рендеринге с новым, введенным только в данной версии, механизмом Open GL, и с отдельными деталями интерфейса. Как гарантирует MathWorks, отличия совсем (или для платформ HP и IBM

почти совсем) не затрагивают базового набора возможностей ядра и пакетов прикладных программ.

1.3.2. Инсталляция системы MATLAB 7 + Simulink 6

Для инсталляции MATLAB 7 + Simulink 6 с другими пакетами расширения достаточно установить первый CD-ROM (или DVD) и дождаться его автоматического запуска. После распаковки и установки файлов инсталлятора на короткое время появляется окно с эмблемой MATLAB, а затем первое окно инсталлятора. Новые реализации MATLAB поставляются на DVD.

В этом окне надо установить опцию Install для инсталляции или опцию обновления лицензии и получения кода PLP (Personal License Password). Этот код является группой из 20 цифр. Установим Install и нажмем мышью кнопку Next>. Появится окно для ввода данных пользователя (имени и названия организации) и, главное, кода PLP — рис. 1.1. Этот код записывается в виде длинного числа и указывается на диске при продаже MATLAB 7 или запрашивается у MathWorks по Интернету. Каждый легальный пользователь MATLAB ныне имеет свои страницы на этом Интернет-сайте с данными о лицензии, ее сроках и комплекте поставки MATLAB. С этой страницы можно получить коды PLP.

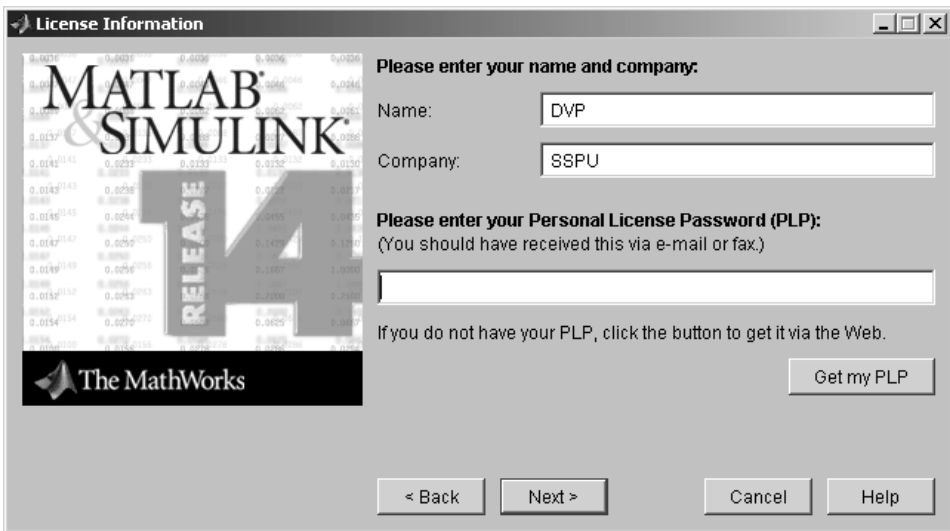


Рис. 1.1. Окно инсталлятора системы MATLAB 7 для ввода данных пользователя и кода PLP

Дальнейшие операции производятся в соответствии с простыми указаниями окон инсталлятора. При выборе типа установки Custom появляется окно, представленное на рис. 1.2. В нем нужно установить директорию, в которую устанавливается система (или согласиться с предложенным выбором), и пометить птичками все пакеты расширения, которые вы хотите установить. Эта возможность действует в пределах приобретенного набора расширений.

Нажав кнопку Next> перейдем к последующим установкам (их окна не приводятся ввиду их простоты и очевидности операций, заданных в них). В какой то момент инсталлятор предложит вам воспользоваться вторым CD-ROM. Окно с этим предложением показано на рис. 1.3 внутри окна инсталляции. Вы можете от-

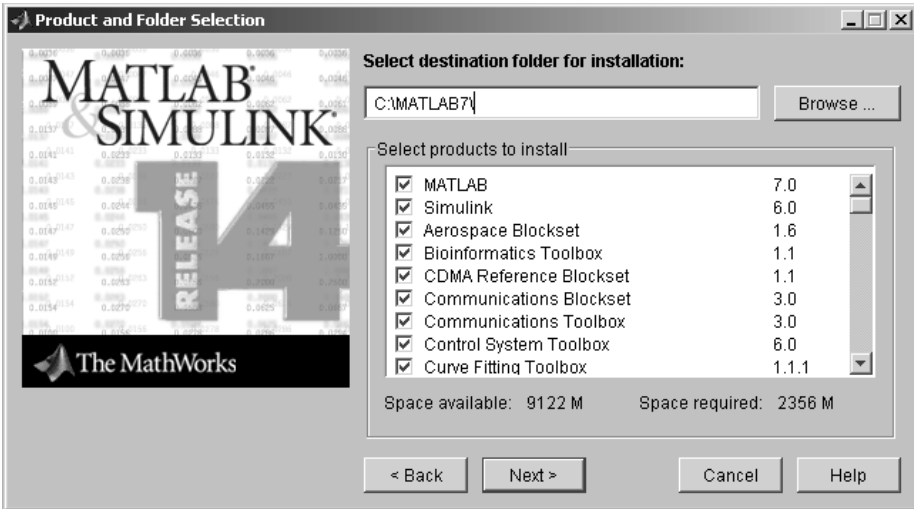


Рис. 1.2. Окно установки директории и выбора пакетов расширения



Рис. 1.3. Окно с предложением сменить CD-ROM

казаться от этого этапа и установить упрощенную версию системы без детальной документации в формате HTML. Иначе вставьте второй CD-ROM и нажмите кнопку ОК. Инсталляция продолжится.

По завершении инсталляции появляется информационное окно с предупреждением о том, что установка расширения Real-Time Windows Target для работы с MATLAB в реальном масштабе времени обеспечивается в командном режиме. Дано указание как это делать. Нажав кнопку Next> можно завершить инсталляцию. Это подтверждается окном, показанным на рис. 1.4.

Если пользователю предоставлен USB-ключ для доступа к программе, то перед пуском MATLAB надо установить этот ключ в свободное гнездо USB-порта. В противном случае при запуске появляется сообщение об ошибке с номером 9.

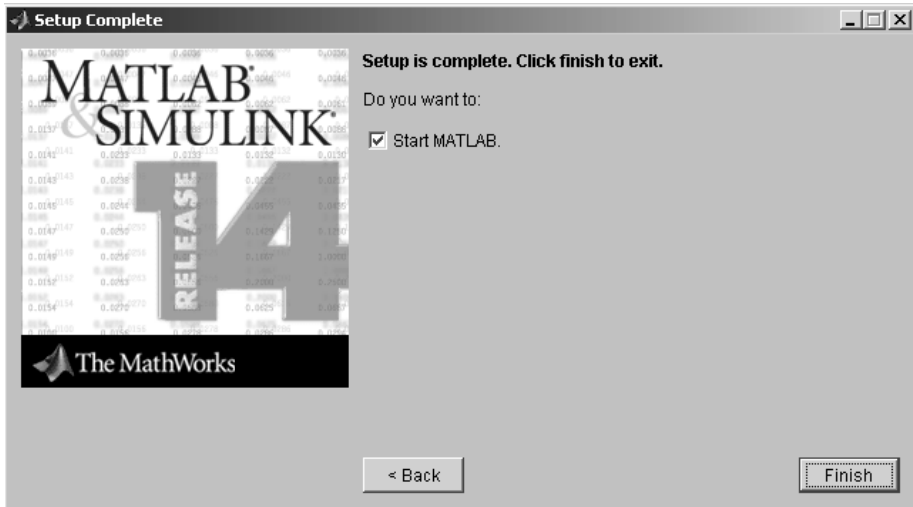


Рис. 1.4. Окно завершения инсталляции

Инсталляция других версий MATLAB не имеет принципиальных отличий. Однако в последней версии MATLAB R2008a инсталляция рекомендуется с применением Интернета. Кроме того, введен новый шаг подготовки к работе — *активизация* системы. Он также требует подключения к Интернету и преследует цель борьбы с нелегальными версиями системы.

1.3.3. Файловая система MATLAB

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

В MATLAB особое значение имеют файлы двух типов — с расширениями `.mat` и `.m`. Первые являются бинарными файлами, в которых могут храниться значения переменных. Вторые представляют собой текстовые файлы, содержащие внешние программы, определения команд и функций системы. Именно к ним относится большая часть команд и функций, в том числе задаваемых пользователем для решения своих специфических задач. Нередко встречаются и файлы с расширением `.c` (коды на языке Си), файлы с откомпилированными кодами MATLAB с расширением `.mex` и другие. Исполняемые файлы имеют расширение `.exe`.

Особое значение имеет папка `MATLAB/TOOLBOX/MATLAB`. В ней содержится набор стандартных `m`-файлов системы. Просмотр этих файлов позволяет детально оценить возможности поставляемой конкретной версии системы. Ниже перечислены основные подпапки с этими файлами (деление на категории условно, на самом деле все подпапки находятся в общей папке `MATLAB/TOOLBOX/MATLAB`).

Подпапка команд общего назначения:

- `General` — команды общего назначения: работа со справкой, управление окном MATLAB, взаимодействие с операционной системой и т. д.

Подпапки операторов, конструкций языка и системных функций:

- `ops` — операторы и специальные символы;
- `lang` — конструкции языка программирования;

Оглавление

Введение	3
Предупреждения	7
Благодарности и адреса для связи	8
Глава 1. НАЧАЛО РАБОТЫ С MATLAB	9
1.1. Назначение и особенности систем MATLAB	9
1.1.1. Назначение системы MATLAB	9
1.1.2. Особенности версии MATLAB 7 + Simulink 6	10
1.1.3. Особенности реализации версии MATLAB 7 SP1	11
1.1.4. Особенности реализации версии MATLAB 7 SP2	11
1.1.5. Новые возможности MATLAB R2006/2007/2008	12
1.2. Общие особенности матричных систем MATLAB	15
1.2.1. Интеграция с другими программными системами	15
1.2.2. Ориентация на матричные операции	16
1.2.3. Расширяемость системы	16
1.2.4. Мощные средства программирования	17
1.2.5. Визуализация и графические средства	17
1.3. Установка и файловая система MATLAB 7	18
1.3.1. Системные требования к установке	18
1.3.2. Инсталляция системы MATLAB 7 + Simulink 6	19
1.3.3. Файловая система MATLAB	21
1.4. Начало работы с MATLAB 7	22
1.4.1. Запуск MATLAB и работа в режиме диалога	22
1.4.2. Понятие о сессии работы с системой MATLAB	22
1.4.3. Новый и старый облик системы MATLAB 7	23
1.4.4. Операции строчного редактирования	25
1.4.5. Команды управления окном	26
1.5. Простые вычисления в MATLAB	27
1.5.1. MATLAB в роли мощного научного калькулятора	27
1.5.2. Перенос строки в сессии	29
1.5.3. Пример тестирования MATLAB R2007 из командной строки	29
1.6. Основные объекты MATLAB	30
1.6.1. Понятие о математическом выражении	30
1.6.2. Действительные и комплексные числа	30
1.6.3. Форматы чисел	32
1.6.4. Константы и системные переменные	32
1.6.5. Текстовые комментарии	33
1.6.6. Переменные и присваивание им значений	34
1.6.7. Уничтожение определений переменных	34
1.6.8. Операторы и функции	35
1.6.9. Применение оператора : (двоеточие)	36
1.6.10. Функции пользователя	38
1.6.11. Сообщения об ошибках и исправление ошибок	39

1.7. Формирование векторов и матриц	40
1.7.1. Особенности задания векторов и матриц	40
1.7.2. Конкатенация матриц	43
1.7.3. Удаление столбцов и строк матриц	44
1.8. Операции с рабочей областью, текстом сессии и редактором m-файлов	44
1.8.1. Дефрагментация рабочей области	44
1.8.2. Сохранение рабочей области сессии	45
1.8.3. Ведение дневника	45
1.8.4. Загрузка рабочей области сессии	46
1.8.5. Работа с редактором m-файлов	47
1.8.6. Завершение вычислений и работы с системой	48
1.9. Основы двумерной графики MATLAB	48
1.9.1. Особенности графики системы MATLAB	48
1.9.2. Графики функций одной переменной	49
1.9.3. Графики ряда функций	50
1.9.4. Графическая функция fplot	51
1.10. Основы трехмерной графики MATLAB	52
1.10.1. Построение трехмерных графиков	52
1.10.2. Вращение графиков мышью	53
1.10.3. Контекстное меню графиков	55
1.11. Основы построения и форматирования графиков	56
1.11.1. Форматирования двумерных графиков	56
1.11.2. Форматирование линий графиков	56
1.11.3. Работа с инструментом Plot Tool	58
1.11.4. Работа с редактором графики MATLAB 7.*	58
1.11.5. Форматирование линий графиков и маркеров опорных точек	59
1.11.6. Форматирование линий и маркеров для графика нескольких функций	61
1.11.7. Форматирование осей графиков	61
1.11.8. Позиция Tools меню окна графики	62
1.11.9. Нанесение надписей и стрелок прямо на график	62
1.11.10. Применение графической «лупы»	64
1.11.11. Построение легенды и шкалы цветов на графике	65
1.11.12. Работа с камерой 3D-графики	65
1.11.13. Работа с демонстрационными примерами	67
1.12. Начало работы с пакетом расширения Simulink 6	69
1.12.1. Доступ к пакету расширения Simulink	69
1.12.2. Запуск моделей Simulink из среды MATLAB	70
1.12.3. Особенности интерфейса Simulink	70
1.12.4. Поиск и загрузка модели	71
1.12.5. Установка параметров компонентов модели	71
1.12.6. Установка параметров моделирования	72
1.12.7. Запуск процесса моделирования	74
Глава 2. ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ	75
2.1. Интерактивная справка из командной строки	75
2.1.1. Вызов списка разделов интерактивной справки	75
2.1.2. Справка по конкретному объекту	75
2.1.3. Справка по группе объектов	76
2.1.4. Справка по ключевому слову	77
2.1.5. Дополнительные справочные команды	77

2.2. Примеры, вызываемые из командной строки	78
2.2.1. Вызов списка демонстрационных примеров	78
2.2.2. Пример — вывод изображения поверхности	79
2.2.3. Что больше — $e^{\pi i}$ или π^e ?	79
2.2.4. Встроенные фигуры	80
2.2.5. Просмотр текстов примеров и m-файлов	80
2.3. Справочная система MATLAB	81
2.3.1. Меню Help и запуск справки	81
2.3.2. Виды работы со справочной системы	82
2.3.3. Доступ к примерам из справочной системы	83
2.4. Интерфейс пользователя MATLAB	84
2.4.1. Средства панели инструментов	84
2.4.2. Браузер рабочей области	85
2.4.3. Команды просмотра рабочей области who и whos	87
2.4.4. Браузер файловой структуры	87
2.5. Работа с меню	88
2.5.1. Команды, операции и параметры	88
2.5.2. Меню системы MATLAB	88
2.5.3. Меню File	88
2.5.4. Установка путей доступа файловой системы	89
2.5.5. Настройка элементов интерфейса	89
2.5.6. Меню Edit — средства редактирования документов	90
2.5.7. Меню View — управление видом интерфейса документов	91
2.6. Основы редактирования и отладки m-файлов	91
2.6.1. Интерфейс редактора/отладчика m-файлов	91
2.6.2. Цветовые выделения и синтаксический контроль	92
2.6.3. Понятие о файлах-сценариях и файлах-функциях	92
2.6.4. Панель инструментов редактора и отладчика	93
2.7. Интерфейсы графических окон	94
2.7.1. Обзор интерфейсов графических окон	94
2.7.2. Панель инструментов камеры обзора	95
2.7.3. Меню инструментов Tools	95
2.7.4. Вращение графиков мышью	95
2.7.5. Операции вставки	96
2.8. Работа с Мастером импорта данных	96
2.8.1. Открытие окна Мастера импорта данных	96
2.8.2. Информация о импортируемых бинарных данных	97
2.8.3. Импорт данных mat-формата	99
2.8.4. Импорт данных текстового формата	100
2.8.5. Об экспорте данных	101
2.9. Новинки графического интерфейса MATLAB 7.*	101
2.9.1. Новая позиция меню Graphics	101
2.9.2. Работа с окном 2-D графики MATLAB 7.*	102
2.9.3. Работа с редактором графики MATLAB 7.*	103
2.9.4. Построение в MATLAB 7.* графиков из их каталога	104
2.9.5. Некоторые другие особенности применения редактора графики	109
2.9.6. Новый вид окна MATLAB 7.*	111
2.10. Интерфейс и новинки MATLAB R2007	112
2.10.1. Новые возможности MATLAB R2007a,b	112
2.10.2. Интерфейс MATLAB R2007a	113

2.10.3. Редактор/отладчик программ и файлов MATLAB R2007a	114
2.10.4. Справка MATLAB R2007a	114
2.10.5. Интерфейс MATLAB R2007a	114
2.10.6. Общая настройка MATLAB R2007b	117
2.10.7. Тестирование MATLAB R2007a,b на скорость вычислений	118
Глава 3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ	121
3.1. Вычислительные и логические операции	121
3.1.1. Арифметические матричные операторы и функции	121
3.1.2. Операции отношения	122
3.1.3. Логические операции и операторы	124
3.2. Специальные символы	126
3.2.1. Специальные символы	126
3.2.2. Системные переменные и константы	129
3.3. Работа со специальными данными	131
3.3.1. Поразрядная обработка данных	131
3.3.2. Обработка множеств	133
3.3.3. Работа с функциями времени и даты	135
3.4. Вычисление элементарных функций	138
3.4.1. Алгебраические и арифметические функции	138
3.4.2. Вычисление тригонометрических и обратных тригонометрических функций	143
3.4.3. Вычисление гиперболических и обратных гиперболических функций	146
3.5. Операции работы с числами	149
3.5.1. Округление и смена знака чисел	149
3.5.2. Операции с комплексными числами	151
3.6. Вычисление специальных математических функций	152
3.6.1. Функции Эйри	152
3.6.2. Функции Бесселя	152
3.6.3. Бета-функция и ее варианты	156
3.6.4. Эллиптические функции и интегралы	156
3.6.5. Функции ошибки	157
3.6.6. Интегральная показательная функция	158
3.6.7. Гамма-функция и ее варианты	158
3.6.8. Ортогональные полиномы Лежандра	160
3.7. Новые функции MATLAB 6/7	160
3.7.1. Функции true и false в MATLAB 6.5	160
3.7.2. Функция psi	161
3.7.3. Особенности вычислений некоторых функций	161
Глава 4. ОПЕРАЦИИ С ВЕКТОРАМИ И МАТРИЦАМИ	162
4.1. Создание матриц с заданными свойствами	162
4.1.1. Создание единичной матрицы	162
4.1.2. Создание матрицы с единичными элементами	162
4.1.3. Создание матрицы с нулевыми элементами	163
4.1.4. Создание линейного массива равноотстоящих точек	163
4.1.5. Создание вектора равноотстоящих в логарифмическом масштабе точек	163
4.1.6. Создание массивов со случайными элементами	164

4.2. Операции с матрицами	166
4.2.1. Конкатенация матриц	166
4.2.2. Создание матриц с заданной диагональю	167
4.2.3. Перестановки элементов матриц	167
4.2.4. Вычисление произведений	168
4.2.5. Суммирование элементов	170
4.2.6. Функции формирования матриц	171
4.2.7. Поворот матриц	171
4.2.8. Выделение треугольных частей матриц	172
4.2.9. Операции с пустыми матрицами	173
4.3. Создание и вычисление специальных матриц	173
4.3.1. Сопровождающие матрицы	173
4.3.2. Тестовые матрицы	174
4.3.3. Матрицы Адамара	174
4.3.4. Матрицы Ганкеля	175
4.3.5. Матрицы Гильберта	175
4.3.6. Матрицы магического квадрата	176
4.3.7. Матрицы Паскаля	176
4.3.8. Матрицы Россера	177
4.3.9. Матрицы Теплица	178
4.3.10. Матрица Вандермонда	178
4.3.11. Матрицы Уилкинсона	178
4.4. Матричные операции линейной алгебры	179
4.4.1. Матричные функции	179
4.4.2. Вычисление нормы и чисел обусловленности матрицы	181
4.4.3. Определитель и ранг матрицы	182
4.4.4. Определение нормы вектора	183
4.4.5. Определение ортонормированного базиса матрицы	183
4.4.6. Функции приведения матрицы к треугольной форме	184
4.4.7. Определение угла между двумя подпространствами	184
4.4.8. Вычисление следа матрицы	185
4.4.9. Разложение Холецкого	185
4.4.10. Обращение матриц — функции inv , pinv	185
4.4.11. LU- и QR-разложение	186
4.4.12. Вычисление собственных значений и сингулярных чисел	189
4.4.13. Приведение матриц к форме Шура и Хессенберга	191
4.5. О скорости выполнения матричных операций	195
4.5.1. О повышении скорости вычислений в старых версиях MATLAB	195
4.5.2. Ситуация со скоростью вычислений в MATLAB 7.*	195

Глава 5. ОПЕРАЦИИ С МАССИВАМИ

СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА	197
5.1. Разреженные матрицы	197
5.1.1. Роль и назначение разреженных матриц	197
5.1.2. Элементарные разреженные матрицы	197
5.1.3. Преобразование разреженных матриц	200
5.1.4. Работа с ненулевыми элементами разреженных матриц	202
5.1.5. Функция sru визуализации разреженных матриц	203
5.1.6. Алгоритмы упорядочения	204
5.2. Применение разреженных матриц	207
5.2.1. Смежные матрицы и графы	207

5.2.2. Пример построения фигуры bucket	208
5.2.3. Оцифровка узлов графа	208
5.2.4. Применение разреженных матриц в аэродинамике	209
5.2.5. Визуализация разреженных матриц, возведенных в степень	210
6.2.6. Демонстрационные примеры на визуализацию разреженных матриц	210
5.3. Функции разреженных матриц	212
5.3.1. Норма, число обусловленности и ранг разреженной матрицы	212
5.3.2. Функции разложения Холецкого для разреженных матриц	212
5.3.3. LU-разложение разреженных матриц	214
5.3.4. Собственные значения и сингулярные числа разреженных матриц	215
5.4. Многомерные массивы	215
5.4.1. Понятие о многомерных массивах	215
5.4.2. Применение оператора «:» в многомерных массивах	216
5.4.3. Удаление размерности у многомерного массива	217
5.4.4. Доступ к отдельному элементу многомерного массива	218
5.4.5. Создание страниц, заполненных константами и случайными числами	218
5.4.6. Функции ones, zeros, rand и randn	219
5.4.7. Объединение многомерных массивов	219
5.4.8. Функция преобразования размеров многомерного массива reshape ..	220
5.5. Работа с размерностями массивов	221
5.5.1. Вычисление числа размерностей массива	221
5.5.2. Перестановки размерностей массивов	221
5.5.3. Сдвиг размерностей массивов	222
5.5.4. Удаление единичных размерностей	222
5.6. Тип данных — структуры	223
5.6.1. Структура записей	223
5.6.2. Создание структур и доступ к их компонентам	223
5.6.3. Функция создания структур	225
5.6.4. Проверка имен полей и структур	225
5.7. Функции полей структур	225
5.7.1. Функция возврата имен полей	225
5.7.2. Функция возврата содержимого полей структуры	226
5.7.3. Функция присваивания значений полям	226
5.7.4. Удаление полей	226
5.7.5. Применение массивов структур	227
5.8. Массивы ячеек	227
5.8.1. Создание массивов ячеек	227
5.8.2. Создание ячеек с помощью функции cell	228
5.8.3. Визуализация массивов ячеек	229
5.8.4. Создание массива символьных ячеек из массива строк	229
5.8.5. Присваивание с помощью функции deal	230
5.8.6. Тестирование имен массивов ячеек	231
5.8.7. Функции преобразования типов данных	231
5.9. Многомерные массивы ячеек	232
5.9.1. Создание многомерных массивов ячеек	232
5.9.2. Вложенные массивы ячеек	233

Глава 6. ГРАФИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ	235
6.1. Графики функций и данных	235
6.1.1. Построение графиков отрезками прямых	235
6.1.2. Графики в логарифмическом масштабе	238
6.1.3. Графики в полулогарифмическом масштабе	239
6.1.4. Столбцовые диаграммы	239
6.1.5. Гистограммы	241
6.1.6. Лестничные графики	241
6.1.7. Графики с зонами погрешности	243
6.1.8. Графики дискретных отсчетов функции	243
6.2. Визуализация в полярной системе координат	244
6.2.1. Графики в полярной системе координат	244
6.2.2. Угловые гистограммы	245
6.3. Визуализация векторов	246
6.3.1. Графики векторов	246
6.3.2. График проекций векторов на плоскость	247
6.4. Основы трехмерной графики	247
6.4.1. Контурные графики	247
6.4.2. Создание массивов данных для трехмерной графики	248
6.4.3. Графики поля градиентов	250
6.4.4. Графики поверхностей	250
6.4.5. Сетчатые 3D-графики с окраской	252
6.4.6. Сетчатые 3D-графики с проекциями	253
6.4.7. Построение поверхности столбцами	254
6.5. Улучшенные средства визуализации 3D-графики	255
6.5.1. Построение поверхности с окраской	255
6.5.2. Построение поверхности и ее проекции	257
6.5.3. Построение освещенной поверхности	258
6.5.4. Средства управления подсветкой и обзором фигур	259
6.5.5. Построение графиков функций трех переменных	260
6.5.6. График трехмерной слоеной поверхности	261
6.5.7. Трехмерные контурные графики	261
6.6. Текстовое оформление графиков	262
6.6.1. Установка титульной надписи	262
6.6.2. Установка осевых надписей	263
6.6.3. Ввод текста в любое место графика	264
6.6.4. Позиционирование текста с помощью мыши	265
6.7. Форматирование графиков	266
6.7.1. Вывод пояснений и легенды	266
6.7.2. Маркировка линий уровня на контурных графиках	268
6.7.3. Управление свойствами осей графиков	269
6.7.4. Включение и выключение сетки	270
6.7.5. Наложение графиков друг на друга	271
6.7.6. Разбиение графического окна	272
6.7.7. Изменение масштаба графика	273
6.8. Цветовая окраска графиков	275
6.8.1. Установка палитры цветов	275
6.8.2. Установка соответствия между палитрой цветов и масштабом осей ...	276
6.8.3. Окраска поверхностей	276

6.8.4. Установка палитры псевдоцветов	276
6.8.5. Создание закрашенного многоугольника	277
6.8.6. Окраска плоских многоугольников	278
6.8.7. Вывод шкалы цветов	279
6.8.8. Цветные плоские круговые диаграммы	280
6.8.9. Окрашенные многоугольники в пространстве	280
6.8.10. Цветные объемные круговые диаграммы	281
6.8.11. Другие команды управления световыми эффектами	282
6.9. Другие возможности графики	282
6.9.1. Построение цилиндра	282
6.9.2. Построение сферы	283
6.9.3. 3D-графика с треугольными плоскостями	283
Глава 7. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ГРАФИКИ MATLAB	285
7.1. Анимационная графика	285
7.1.1. Движение точки на плоскости	285
7.1.2. Движение точки в пространстве	285
7.1.3. Основные средства анимации	286
7.1.4. Вращение фигуры — логотипа MATLAB	287
7.1.5. Волновые колебания мембраны	288
7.2. Основы дескрипторной графики	290
7.2.1. Объекты дескрипторной графики	290
7.2.2. Создание графического окна и управление им	290
7.2.3. Создание координатных осей и управление ими	290
7.2.4. Пример применения объекта дескрипторной графики	291
7.2.5. Дескрипторы объектов	291
7.2.6. Операции над графическими объектами	292
7.2.7. Свойства объектов — команда get	293
7.2.8. Изменение свойств объекта — команда set	294
7.2.9. Просмотр свойств	294
7.2.10. Примеры дескрипторной графики	295
7.2.11. Иерархия объектов дескрипторной графики	297
7.2.12. Справка по дескрипторной графике	297
7.3. Галерея трехмерной графики	299
7.3.1. Доступ к галерее	299
7.3.2. Примеры построения фигур из галереи	300
7.4. Графический интерфейс пользователя GUI	303
7.4.1. Основные команды для создания GUI	303
7.4.2. Простой пример создания объектов GUI	304
7.4.3. Конструктор графического интерфейса GUIDE	305
Глава 8. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ	308
8.1. Решение систем линейных уравнений (СЛУ)	308
8.1.1. Элементарные средства	308
8.1.2. Решение систем линейных уравнений с ограничениями	310
8.1.3. Решение систем линейных уравнений с комплексными элементами	311
8.2. Решение СЛУ с разреженными матрицами	312
8.2.1. Точное решение, метод наименьших квадратов и сопряженных градиентов	312
8.2.2. Двухнаправленный метод сопряженных градиентов	314

8.2.3. Устойчивый двунаправленный метод	315
8.2.4. Метод сопряженных градиентов	316
8.2.5. Квадратичный метод сопряженных градиентов	317
8.2.6. Метод минимизации обобщенной невязки	317
8.2.7. Квазиминимизация невязки — функция qmg	318
8.3. Вычисление корней функции одной переменной	318
8.4. Вычисление минимумов функций	320
8.4.1. Минимизация функции одной переменной	320
8.4.2. Минимизация функций ряда переменных	321
8.4.3. Минимизация тестовой функции Розенброка	322
8.4.4. Минимизация функций нескольких переменных	323
8.5. Аппроксимация производных	325
8.5.1. Аппроксимация лапласиана	325
8.5.2. Аппроксимация производных конечными разностями	326
8.5.3. Вычисление градиента функции	328
8.6. Численное интегрирование	329
8.6.1. Интегрирование методом трапеций	329
8.6.2. Интегрирование методом квадратур	331
8.6.3. Функция вычисления тройных интегралов $triplequad$	332
8.7. Математические операции с полиномами	332
8.7.1. Определение полиномов	332
8.7.2. Умножение и деление полиномов	333
8.7.3. Вычисление полиномов	333
8.7.4. Вычисление корней полинома	335
8.7.5. Вычисление производной полинома	335
8.7.6. Решение полиномиальных матричных уравнений	335
8.7.7. Разложение полиномов на простые дроби	336
8.8. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ)	337
8.8.1. Определение ОДУ	337
8.8.2. Решатели ОДУ	337
8.8.3. Использование решателей систем ОДУ	338
8.8.4. Описание системы ОДУ	342
8.8.5. Deskriptornaya поддержка параметров решателя	344
8.8.6. Доступ к примерам на решение дифференциальных уравнений	345
8.8.7. Решения дифференциальных уравнений в частных производных	345

Глава 9. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

И СОХРАНЕНИЕ ДАННЫХ	350
9.1. Обработка данных массивов	350
9.1.1. Нахождение максимального и минимального элементов массива	350
9.1.2. Сортировка элементов массива	351
9.1.3. Нахождение средних и срединных значений	353
9.1.4. Вычисление стандартного отклонения	354
9.1.5. Вычисление коэффициентов корреляции	355
9.1.6. Вычисление матрицы ковариации	356
9.2. Геометрический анализ данных	356
9.2.1. Триангуляция Делоне	356
9.2.2. Вычисление выпуклой оболочки	358
9.2.3. Вычисление площади полигона	358

9.2.4. Анализ попадания точек внутрь полигона	359
9.2.5. Построение диаграммы Вороного	360
9.3. Преобразование Фурье	361
9.3.1. Основные определения	361
9.3.2. Одномерное прямое быстрое преобразования Фурье	362
9.3.3. Многомерное прямое преобразование Фурье	363
9.3.4. Перегруппировка массивов	364
9.3.5. Одномерное быстрое обратное преобразование Фурье	365
9.4. Свертка и дискретная фильтрация	366
9.4.1. Свертка прямая и обратная	366
9.4.2. Свертка двумерных массивов	366
9.4.3. Дискретная одномерная фильтрация	367
9.4.4. Двумерная фильтрация	369
9.4.5. Коррекции фазовых углов	370
9.5. Интерполяция и аппроксимация данных	370
9.5.1. Полиномиальная регрессия	370
9.5.2. Фурье-интерполяция периодических функций	372
9.5.3. Интерполяция на неравномерной сетке	373
9.5.4. Одномерная табличная интерполяция	374
9.5.5. Двумерная табличная интерполяция	374
9.5.6. Трехмерная табличная интерполяция	376
9.5.7. N-мерная табличная интерполяция	377
9.5.8. Интерполяция кубическим сплайном	377
9.5.9. Средства обработки данных в графическом окне	378
9.6. Специальные виды интерполяции	379
9.6.1. Сравнение видов двумерной интерполяции поверхности	379
9.6.2. Сравнение видов интерполяции при контурных графиках	381
9.6.3. Пример многомерной интерполяции	382
9.6.4. 3D геометрический анализ и интерполяция	382
9.6.5. Другие представления сложных фигур	385
9.7. Обработка строковых данных	387
9.7.1. Основные функции обработки строк	387
9.7.2. Операции над строками	389
9.7.3. Преобразование символов и строк	392
9.7.4. Функции преобразования систем счисления	394
9.7.5. Вычисление строковых выражений	395
9.8. Работа с файлами	396
9.8.1. Открытие и закрытие файлов	397
9.8.2. Операции с двоичными файлами	399
9.8.3. Операции над форматированными файлами	401
9.8.4. Позиционирование файла	405
9.8.5. Специализированные файлы	408
9.9. Работа с файлами изображений	409
9.9.1. Информация о графическом файле — <code>imfinfo</code>	409
9.9.2. Чтение изображения из файла — <code>imread</code>	411
9.9.3. Запись изображения в файл — <code>imwrite</code>	412
9.10. Работа со звуковыми данными	415
9.10.1. Функции для работы со звуками	415
9.10.2. Функции звука в MATLAB 6.1/6.5	416
9.10.3. Демонстрация возможностей работы со звуком	416

Глава 10. ТИПОВЫЕ СРЕДСТВА ПРОГРАММИРОВАНИЯ	419
10.1. Основные понятия программирования	419
10.1.1. Назначение языка программирования MATLAB	419
10.1.2. Основные средства программирования	420
10.1.3. Основные типы данных	420
10.1.4. Виды программирования	421
10.1.5. Двойственность операторов, команд и функций	422
10.1.6. Некоторые ограничения	423
10.1.7. Исполнение программных объектов	424
10.2. М-файлы сценариев и функций	424
10.2.1. Структура и свойства файлов сценариев	424
10.2.2. Структура М-файла-функции	426
10.2.3. Статус переменных в функциях	427
10.2.4. Команда глобализации переменных global	428
10.2.5. Использование подфункций	429
10.2.6. Частные каталоги	430
10.3. Обработка ошибок и комментарии	430
10.3.1. Вывод сообщений об ошибках	430
10.3.2. Функция lasterr и обработка ошибок	431
10.3.3. Комментарии	432
10.4. Функции с переменным числом аргументов	432
10.4.1. Функции подсчета числа аргументов	432
10.4.2. Переменные varargin и varargout	433
10.5. Особенности работы с m-файлами	434
10.5.1. Выполнение m-файлов функций	434
10.5.2. Создание Р-кодов	435
10.6. Управляющие структуры	436
10.6.1. Диалоговый ввод	436
10.6.2. Условный оператор if...elseif...else...end	437
10.6.3. Циклы типа for...end	438
10.6.4. Циклы типа while...end	439
10.6.5. Конструкция переключателя switch...case...end	440
10.6.6. Конструкция try...catch...end	441
10.6.7. Операторы break, continue и return	442
10.6.8. Пустые матрицы в структурах if и while	442
10.6.9. Создание паузы в вычислениях	443
10.7. Основы объектно-ориентированного программирования	443
10.7.1. Основные понятия	443
10.7.2. Классы объектов	444
10.7.3. Создание класса или объекта	445
10.7.4. Проверка принадлежности объекта к заданному классу	445
10.7.5. Другие функции объектно-ориентированного программирования ..	445
10.8. Handle- и inline-функции	446
10.8.1. Задание handle-функции	446
10.8.2. Вычисление и применение handle-функций	447
10.8.3. Inline-функции	447
10.8.4. Преобразования handle- и inline-функций	448
10.9. Отладка программ	448
10.9.1. Общие замечания по отладке m-файлов	448
10.9.2. Команды отладки программ	449

10.9.3. Вывод листинга m-файла с пронумерованными строками	449
10.9.4. Установка, удаление и просмотр точек прерывания	450
10.9.5. Управление исполнением m-файла	450
10.9.6. Просмотр рабочей области	451
10.9.7. Профилирование m-файлов	451
10.9.8. Создание итогового отчета	453
10.9.9. Построение диаграмм Парето	454
10.9.10. Работа с системой контроля версий	454
10.10. Общение MATLAB с операционной системой	455
10.10.1. Работа с папками	455
10.10.2. Выполнение команд !,dos, unix и vms	456
10.10.3. Общение с Интернетом из командной строки	456
10.10.4. Некоторые другие команды	457
10.11. Поддержка Java	458
10.11.1. Информация о средствах поддержки Java	458
10.11.2. Java-объекты	459
10.11.3. Специфика применение Java-объектов	460
10.11.4. Java-массивы	461
10.12. Программирование задач пользователя с GUI	462
10.12.1. Примеры программирования GUI	462
10.12.2. Программирование анимации поверхности с разной скоростью	463
10.12.3. Программирование визуализации звукового сигнала	464
10.13. Компиляция MATLAB-программ	466
10.13.1. Конфигурирование расширения MATLAB Compiler	466
10.13.2. Компиляция m-файла функции	466
10.13.3. Исполнение откомпилированного файла	468
10.13.4. Несколько замечаний по компиляции файлов MATLAB	468
Глава 11. ОБЗОР РАСШИРЕНИЙ MATLAB	469
11.1. Состав расширений MATLAB	469
11.1.1. Классификация расширений системы MATLAB+Simulink	469
11.1.2. Главный пакет расширения Simulink	469
11.2. Примеры работы с Simulink	471
11.2.1. Пример моделирования системы Ван-дер-Поля	471
11.2.2. Nonlinear Control Design Blockset	472
11.2.3. Digital Signal Processing (DSP) Blockset	474
11.2.4. Пакет расширения Fixed-Point Blockset	476
11.2.5. Пакет расширения Stateflow	476
11.2.6. Пакет расширения SimPower System	476
11.2.7. Report Generator для MATLAB и Simulink	478
11.2.8. Real Time Windows Target и WorkShop	478
11.3. Пакеты математических вычислений	479
11.3.1. Symbolic Math Toolbox	479
11.3.2. NAG Foundation Toolbox	479
11.3.3. Spline Toolbox	480
11.3.4. Statistics Toolbox	480
11.3.5. Optimization Toolbox	482
11.3.6. Partial Differential Equations Toolbox	482
11.3.7. Fuzzy Logic Toolbox	484
11.3.8. Neural Networks Toolbox	485

11.4. Пакеты анализа и синтеза систем управления	486
11.4.1. Control System Toolbox	486
11.4.2. Robust Control Toolbox	489
11.4.3. Model Predictive Control Toolbox	491
11.4.4. Communications Toolbox	491
11.4.5. r -Analysis and Synthesis	492
11.4.6. Quantitative Feedback Theory Toolbox	492
11.4.7. LMI Control Toolbox	493
11.5. Пакет идентификации систем	493
11.6. Пакеты для обработки сигналов и изображений	495
11.6.1. Signal Processing Toolbox	495
11.6.2. Image Processing Toolbox	497
11.6.3. Wavelet Toolbox	500
11.7. Прочие пакеты прикладных программ	503
11.7.1. Financial Toolbox	503
11.7.2. Mapping Toolbox	504
11.7.3. Data Acquisition Toolbox и Instrument Control Toolbox	505
11.7.4. Database toolbox	507
11.7.5. Excel Link	508
11.7.6. Virtual Reality Toolbox	508
11.7.7. MATLAB Compiler	508
11.8. Пакеты расширения MATLAB 6.5	508
11.8.1. Curve Fitting Toolbox	508
11.8.2. Instrument Control Toolbox	511
11.8.3. Developer's Kit for Texas Instruments DSP	511
11.8.4. Dials & Gauges Blockset	512
11.8.5. Mechanical System Blockset	512

Глава 12. SIMULINK КАК СРЕДСТВО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	513
12.1. Основные понятия математического моделирования	513
12.1.1. Роль математического моделирования	513
12.1.2. Аналитическое моделирование	514
12.1.3. Численное моделирование	515
12.1.4. Имитационное и ситуационное моделирование	516
12.2. Основные возможности пакета Simulink	516
12.2.1. Назначение пакета	516
12.2.2. Общие возможности Simulink	518
12.2.3. Дополнительные возможности Simulink	518
12.2.4. Новые возможности Simulink 5/6	519
12.3. Запуск Simulink и основы работы с пакетом	520
12.3.1. Интеграция пакета Simulink с системой MATLAB	520
12.3.2. Запуск моделей Simulink из среды MATLAB	521
12.3.3. Особенности интерфейса Simulink	522
12.4. Работа с демонстрационными примерами	523
12.4.1. Поиск и загрузка модели аттрактора Лоренца	523
12.4.2. Установка параметров компонентов модели	524
12.4.3. Установка параметров моделирования	525
12.4.4. Запуск процесса моделирования	527
12.4.5. Решение дифференциальных уравнений Ван-дер-Поля	528

12.4.6. Изменение характера нелинейности модели	529
12.4.7. Как добавить в модель графопостроитель	530
12.5. Работа с редактором дифференциальных уравнений	531
12.5.1. Решение уравнений Ван-дер-Поля	531
12.5.2. Решение уравнений аттрактора Лоренца	532
12.6. Дополнительные примеры моделирования	533
12.6.1. Моделирование кубика с пружинкой	533
12.6.2. Информационное обеспечение примера	534
12.6.3. Моделирование системы терморегулирования дома	534
12.6.4. Использование субмоделей	534
12.6.5. Моделирование работы унитаза	536
12.7. Дополнительные возможности	538
12.7.1. Применение логических операций	538
12.7.2. Визуальный контроль типов данных	538
12.8. Особенности реализации Simulink 6	539
12.8.1. Новые разделы библиотеки Simulink 6	539
12.8.2. Подборка блоков из ящиков Blockset и Toolbox	541
12.8.3. Новое окно установки параметров моделирования Simulink 6	541
12.8.4. Новые кнопки на панели инструментов Simulink 6	542
12.8.5. Новый навигатор моделей Model Explorer	542
12.9. Особенности реализации Simulink 7	543
12.9.1. Справка по Simulink 7	543
12.9.2. Браузер библиотек Simulink 7	544
12.9.3. О составе блоков библиотеке Simulink 7	544
12.9.4. Доступ к демонстрационным примерам Simulink 7	546
Глава 13. РАБОТА SIMULINK С ФАЙЛАМИ	547
13.1. Интерфейс браузера библиотек	547
13.1.1. Окно браузера библиотек Simulink 5	547
13.1.2. Состав основной библиотеки блоков	548
13.1.3. Заголовок и строка состояния	549
13.1.4. Меню окна браузера библиотек	549
13.1.5. Настройка параметров Simulink	549
13.1.6. Меню Edit браузера библиотек	551
13.1.7. Меню View браузера библиотек	552
13.1.8. Справка по браузеру библиотек	552
13.1.9. Панель инструментов окна браузера библиотек	553
13.2. Интерфейс окна моделей Simulink	553
13.2.1. Панель инструментов окна моделей	553
13.2.2. Основное меню пакета Simulink	554
13.2.3. Меню File окна модели	554
13.2.4. Контроль источников	555
13.2.5. Вывод окна свойств текущей модели	555
13.3. Печать текущей модели	557
13.3.1. Вывод окна печати модели	557
13.3.2. Настройка принтера	558
Глава 14. ПОДГОТОВКА И ЗАПУСК МОДЕЛИ	560
14.1. Создание модели	560
14.1.1. Постановка задачи и начало создания модели	560

14.1.2. Ввод текстовой надписи	560
14.1.3. Размещение блоков в окне модели	560
14.1.4. Выделение блока модели	562
14.1.5. Меню редактирования Edit	563
14.1.6. Применение буфера обмена	563
14.1.7. Выделение ряда блоков и их перенос	564
14.1.8. Запуск нескольких моделей одновременно	565
14.2. Моделирование ограничителя	567
14.2.1. Постановка задачи	567
14.2.2. Создание и запуск модели ограничителя	567
14.2.3. Настройка масштаба осциллограмм	568
14.2.4. Сохранение модели	570
14.2.5. Модернизация и расширение модели	571
14.3. Основные приемы подготовки и редактирования модели	572
14.3.1. Добавление надписей и текстовых комментариев	572
14.3.2. Выделение, удаление и восстановление объектов	573
14.3.3. Вставка блоков и их соединение	575
14.3.4. Создание отвода линии	576
14.3.5. Удаление соединений	577
14.3.6. Изменение размеров блоков	577
14.3.7. Перемещение блоков и вставка блоков в соединение	577
14.3.8. Моделирование дифференцирующего устройства	578
14.3.9. Команды Undo и Redo в окне модели	579
14.4. Операции форматирования модели	579
14.4.1. Меню форматирования Format	579
14.4.2. Примеры форматирования модели	579
Глава 15. БЛОКИ ИСТОЧНИКОВ И ПОЛУЧАТЕЛЕЙ СИГНАЛОВ	581
15.1. Источники простых сигналов и воздействий	581
15.1.1. Общий обзор источников	581
15.1.2. Источник постоянного воздействия Constant	582
15.1.3. Источник синусоидального воздействия Sine Wave	584
15.1.4. Источник нарастающего воздействия Ramp	584
15.1.5. Источник одиночного перепада Step	585
15.1.6. Источник прямоугольных импульсов Pulse Generator	585
15.1.7. Земля Ground	586
15.2. Источники шумовых воздействий	587
15.2.1. Источник случайного сигнала с нормальным распределением Random Number	587
15.2.2. Источник случайного сигнала с равномерным распределением Uniform Random Number	587
15.2.3. Генератор белого шума Band Limited White Noise	588
15.3. Источники сложных сигналов	588
15.3.1. Повторяющаяся последовательность Repeating Sequence	588
15.3.2. Сигнал-генератор Signal Generator	589
15.3.3. Генератор нарастающей частоты Chirp Generator	589
15.3.4. Конструктор сигналов	590
15.4. Источники системных данных	591
15.4.1. Источник времени моделирования Clock	591
15.4.2. Цифровой источник времени Digital Clock	591
15.4.3. Блок получения данных из файлов From File	592

15.4.4. Блок получения данных из рабочего пространства From Workspace	592
15.4.5. Блок входа In	594
15.5. Виртуальные регистраторы	595
15.5.1. Обзор блоков приема данных	595
15.5.2. Виртуальный осциллограф	596
15.5.3. Виртуальный «плавающий» осциллограф	598
15.5.4. Виртуальный графопостроитель XY Graph	599
15.5.5. Дисплей Display	601
15.6. Другие блоки группы Skins	601
15.6.1. Заглушка Terminator	601
15.6.2. Задание выхода Out* и создание подсистемы	602
15.6.1. Блок остановки моделирования Stop	604
15.6.2. Блок сохранения данных в файле To File	604
15.6.3. Блок сохранения данных в рабочем пространстве To Workspace	606
15.7. Библиотека Signal Routing	606
15.7.1. Обзор библиотеки Signal Routing	606
15.7.2. Блок создания шины Bus Creator	607
15.7.3. Блок шинного селектора Bus Selector	608
15.7.4. Блок выбора последнего сигнала Merge	609
15.7.5. Блок мультиплексирования Mux	611
15.7.6. Блок демультимплексирования Demux	611
15.7.7. Блоки для записи и считывания данных Data Store Memory, Data Store Write и Data Store Read	611
15.7.8. Блоки «беспроводной» связи From, Goto и Goto Tag Visibility	613
15.7.9. Ручной переключатель сигналов Manual Switch	614
15.7.10. Управляемый переключатель сигналов Switch	614
15.7.11. Многопортовый переключатель сигналов Multiport Switch	616
15.7.12. Селектор Selector	618
15.8. Библиотека атрибутов сигналов Signal Attribute	618
15.8.1. Состав библиотеки атрибутов сигналов	618
15.8.2. Блок преобразования типов сигналов Data Type Conversion	619
15.8.3. Установка начального значения сигнала IC	619
15.8.4. Блок согласования дискретных значений Rate Transition	620
15.8.5. Блок спецификации сигнала Signal Specification	621
15.8.6. Блок проверки сигналов Probe	621
15.8.7. Блок вычисления размера сигнала Width	622
Глава 16. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ БЛОКИ	623
16.1. Математическая библиотека Math	623
16.1.1. Обзор библиотеки Math	623
16.1.2. Блоки выполнения арифметических операций	624
16.1.3. Блоки вычисления элементарных функций	625
16.1.4. Блок выполнения логических операций Logical Operation	626
16.1.5. Блок выполнения побитовых логических операций Bitwise Logical Operator	627
16.1.6. Блок выполнения операций по таблице истинности Combinatorial Logic	627
16.1.7. Блоки масштабирования Gain и Slider Gain	628
16.1.8. Блоки Complex to Magniitude-Angle и Complex to Real-Imag	629
16.1.9. Блоки Real-Image to Complex и Magnitude-Phase to Complex	630

16.1.10. Блок поиска минимума и максимума MinMax	631
16.1.11. Блок алгебраического ограничения Algebraic Constraint	631
16.1.12. Матричные блоки Assignment, Matrix Concatenation и Reshape	633
16.1.13. Блок вычисления значений полинома Polynomial	634
16.2. Библиотека непрерывных блоков Continuous	635
16.2.1. Раздел библиотеки Continuous	635
16.2.2. Дифференцирующий блок Derivative	635
16.2.3. Интегрирующий блок Integrator	636
16.2.4. Блок задания линейаризованной модели State-Space	637
16.2.5. Блок передаточной характеристики Transfer Fcn	638
16.2.6. Блок Zero-Pole	639
16.2.7. Блок фиксированной задержки Transport Delay	639
16.2.8. Блок управляемой задержки Variable Transport Delay	640
16.3. Блоки задания таблиц	640
16.3.1. Обзор блоков таблиц	640
16.3.2. Блок одномерной таблицы Look-Up Table	641
16.3.3. Блок двумерной таблицы Look-Up Table (2D)	643
16.3.4. Блок многомерной таблицы Look-Up Table (n-D)	643
16.3.5. Блок Interpolation (n-D) using PreLoop-Up	645
16.3.6. Блок таблицы с прямым доступом Direct Loop-Up Table (n-D)	645
16.3.7. Блок работы с индексами PreLook-Up Index Search	647
16.4. Блоки задания функций пользователя	648
16.4.1. Обзор функций пользователя	648
16.4.2. Блок задания функции Fcn	648
16.4.3. Блок задания функции MATLAB Fcn	649
16.4.4. Блок задания S-функций	650
16.4.5. Примеры применения S-функций	651
16.4.6. Блок создания S-функций S-Function Builder	653
16.5. Новые разделы библиотеки Simulink 6/7	654
16.5.1. Блоки раздела Logic and Bit Operations	654
16.5.2. Блоки раздела Additional Math & Discrete	655

Глава 17. НЕЛИНЕЙНЫЕ, ДИСКРЕТНЫЕ

И СПЕЦИАЛЬНЫЕ БЛОКИ	656
17.1. Нелинейные блоки	656
17.1.1. Обзор нелинейных блоков	656
17.1.2. Блок ограничения Saturation	657
17.1.3. Блок с зоной нечувствительности Dead Zone	657
17.1.4. Релейный блок Relay	658
17.1.5. Блок с ограничением скорости Rate Limiter	658
17.1.6. Блок квантования Quantizer	660
17.1.7. Блок фрикционных эффектов Coulombic and Viscous Friction	660
17.1.8. Блок люфта Backlash	660
17.1.9. Детектор пересечения заданного уровня Hit Crossing	661
17.2. Дискретные блоки	662
17.2.1. Обзор дискретных блоков	662
17.2.2. Блок дискретной единичной задержки Unit Delay	662
17.2.3. Блок экстраполятора нулевого порядка Zero-Order Hold	663
17.2.4. Блок экстраполятора первого порядка First-Order Hold	663
17.2.5. Блок дискретного интегратора времени Discrete-Time Integrator	664
17.2.6. Блок дискретного фильтра Discrete Filter	665

17.2.7. Блок памяти Memory	665
17.2.8. Блок дискретной передаточной функции Discrete Transfer Fcn	666
17.2.9. Блок задания дискретной функции Discrete Zero Pole	667
17.2.10. Блок Discrete State Space	667
17.3. Библиотеки Simulink Extras	667
17.3.1. Обзор библиотеки Simulink Extras	667
17.3.2. Дополнительные дискретные блоки Additional Discrete	669
17.3.3. Дополнительные линейные блоки	669
17.3.4. Дополнительные блоки Additional Sinks	672
17.3.5. Блоки спектрального анализа	672
17.3.6. Блок кросс-коррелятора Cross-Correlator	674
17.3.7. Блок автокоррелятора Cross-Correlator	675
17.3.8. Обзор раздела библиотеки Flip Flops	675
17.3.9. Генератор тактовых импульсов Clock	676
17.3.10. Триггерные блоки	676
17.3.11. Пример построения широтно-импульсного модулятора	677
17.3.12. Раздел Linearization	677
17.3.13. Блок заданной временной задержки	679
17.4. Блоки преобразований	679
17.4.1. Обзор раздела преобразований Transformations	679
17.4.2. Блок преобразования температуры Celsius to Fahrenheit	679
17.4.3. Блок преобразования температуры Fahrenheit to Celsius	680
17.4.4. Блок преобразования углов Degress to Radians	680
17.4.5. Блок преобразования углов Radians to Degress	681
17.4.6. Блок преобразования координат Cartesian to Polar	681
17.4.7. Блок преобразования координат Polar to Cartesian	681
17.4.8. Блок преобразования 3D-координат Cartesian to Spherical	682
17.4.9. Блок преобразования 3D-координат Spherical to Cartesian	682
17.5. Библиотека верификации модели — Model Verification	683
17.5.1. Обзор блоков библиотеки Model Verification	683
17.5.2. Блоки контроля со статическими уровнями	684
17.5.3. Блоки динамического контроля	685
17.5.4. Блок контроля нуля Assertion	686
17.5.5. Блок контроля градиента дискретного сигнала Check Discrete Gradient	686
17.5.6. Блок контроля разрешения Check Input Resolution	688
17.6. Библиотека дополнительных утилит Model-Wide Utilities	688
17.6.1. Обзор блоков библиотеки Model-Wide Utilities	688
17.6.2. Блок линейризации модели в заданное время Times-Based Linearization	689
17.6.3. Блок линейризации с запуском Trigger-Based Linearization	689
17.6.4. Блок задания информации о модели — Model info	691
17.6.5. Блок документирования модели — DocBlock	692
Глава 18. ПОДГОТОВКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПОДСИСТЕМ	693
18.1. Общие сведения о подсистемах	693
18.2. Создание подсистемы из части основной модели	693
18.2.1. Постановка задачи о выделении подсистемы	693
18.2.2. Выделение блоков для подсистемы	694
18.2.3. Создание подсистемы из выделенных блоков	694
18.2.4. Вызов и просмотр подсистемы	695

18.2.5. Назначение портов ввода и вывода в подсистемах	695
18.2.6. Использование браузера моделей для работы с подсистемами	696
18.2.7. Модификация и редактирование подсистемы	696
18.2.8. Задание свойств подсистемы	697
18.2.9. Параметры портов ввода и вывода	699
18.2.10. Обзор библиотеки Ports&SubSystem	700
18.3. Построение подсистем на основе блока SubSystem	700
18.3.1. Постановка задачи	700
18.3.2. Модель функционального генератора	701
18.3.3. Задание подсистемы с помощью блока SubSystem	702
18.3.4. Создание основной модели и ее испытание	702
18.4. Управляемые подсистемы	704
18.4.1. Типы управляемых подсистем	704
18.4.2. Пример создания E-подсистемы функционального генератора	704
18.4.3. Создание порта выхода E-подсистемы	705
18.4.4. T-подсистемы	706
18.4.5. Пример применения T-подсистемы	707
18.4.6. ET-подсистемы	708
18.4.7. Применение блоков Goto, Goto Tag visibility и From	709
18.5. Особенности применения подсистем	710
18.5.1. Виртуальные подсистемы	710
18.5.2. Не виртуальные подсистемы	711
18.5.3. Семантика подсистем	712
18.5.4. Демонстрационные примеры применения подсистем	712
18.6. Маскированные подсистемы	716
18.6.1. Механизм маскирования	716
18.6.2. Создание начальной модели	717
18.6.3. Подготовка к маскированию подсистемы	718
18.6.4. Запуск редактора маски	719
18.7. Работа с масками	719
18.7.1. Редактор маски	719
18.7.2. Создание окна параметров блока	721
18.7.3. Инициализация параметров	722
18.7.4. Подготовка описания и документации блока	723
18.7.5. Создание простой пиктограммы блока	723
18.7.6. Проверка модели с созданной маской	724
18.7.7. Вывод описания и справки маски	726
18.7.8. Создание маски-справки	726
18.8. Расширенные средства создания пиктограмм блоков	727
18.8.1. Задание текстовых надписей	727
18.8.2. Применение команд графики MATLAB	727
18.8.3. Средства специального оформления пиктограмм	728
18.8.4. Применение графического редактора пиктограмм	729
18.8.5. Задание пиктограммы в виде готового рисунка	731
18.9. Создание библиотек пользователя	733
18.9.1. Библиотека Commonly Used Simulink 6	733
18.9.2. Требования к библиотекам пользователя	733
18.9.3. Окно библиотеки пользователя	733
18.9.4. Перенос блоков в окно библиотеки	734
18.9.5. Применение библиотек пользователя	735

Глава 19. ИНСТРУМЕНТЫ И ПРАКТИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ	736
19.1. Меню инструментов Tools	736
19.1.1. Роль инструментальных средств Simulink	736
19.1.2. Меню инструментов Tools	736
19.2. Работа с отладчиком графических S-моделей	737
19.2.1. Запуск отладчика	737
19.2.2. Панель инструментов отладчика	738
19.2.3. Работа с отладчиком	738
19.2.4. Дополнительные возможности отладчика	740
19.2.5. Проверка порядка выполнения блоков	740
19.2.6. Оценка состояния отладчика	741
19.2.7. Управление отладчиком из командной строки MATLAB	741
19.3. Браузер данных Simulink	744
19.4. Подготовка отчетов по моделированию	744
19.4.1. Что такое отчет?	744
19.4.2. Установки просмотра отчета	745
19.4.3. Запуск генератора отчетов	745
19.4.4. Редактирование отчета	747
19.4.5. Пример подготовки отчета	747
19.5. Инструменты ускорения моделирования	749
19.5.1. Профилировщик Profiler	749
19.5.2. Применение Simulink-ускорителя	753
19.5.3. Дискретизация моделей	755
19.6. Работа с LTI-вьювером	756
19.6.1. Вызов LTI-вьювера командой Linear analysis... ..	756
19.6.2. Выбор состояния системы	758
19.6.3. Выбор графических характеристик линейных систем	759
19.6.4. Конфигурация вывода графиков	759
19.6.5. Пример линеаризации нелинейной системы	761
19.7. Прочие инструментальные средства	761
19.8. Практические примеры моделирования	762
19.8.1. Построение спирали Карно	762
19.8.2. Синтез АМ-сигнала	762
19.8.3. Нестабильные линейные системы с обратной связью	764
19.8.4. Получение незатухающих почти синусоидальных колебаний	764
19.9. Демонстрационные примеры Simulink	766
19.9.1. Доступ к демонстрационным примерам Simulink	766
19.9.2. Моделирование простого маятника	767
19.9.3. Колебания многозвенного объекта	768
19.9.4. Моделирование отскакивающего от поверхности мячика	768
19.9.5. Моделирование автопилота с аналоговыми блоками	770
19.9.6. Пример дискретной системы	771
19.9.7. Применение примеров раздела Automotive	771
19.9.8. Ранняя модель автопилота летательного аппарата F14	771
19.9.10. Комбинированная модель автопилота F14	773
Список литературы	776