

Дьяконов В. П.



# MATLAB 6.5 SP1 / 7.0 Simulink 5 / 6

**в математике и моделировании**

Приемы анализа, моделирования и проектирования систем и устройств  
Статистические вычисления, регрессия, сплайны  
Оптимизация и идентификация систем  
Имитационное и событийное моделирование  
Визуализация результатов работы  
*Примеры применения MATLAB и расширений*

**Библиотека  
Профессионала**

УДК 621.396.218  
ББК 32.884.1  
Д93

**В. П. Дьяконов**

**Д93 MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6® в математике и моделировании.**

Серия «Библиотека профессионала». — М.: СОЛОН-Пресс, 2010. — 576 с.: ил.

**ISBN 5-98003-209-6**

В этой второй, но вполне самостоятельной справочной монографии по новейшим системам MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 описано их применение в математических расчетах и математическом моделировании. Особое внимание уделено анализу, моделированию и проектированию систем и устройств, в частности электрорадиотехнических и телекоммуникационных. Дано описание многих пакетов расширения Blockset и Toolbox последних реализаций, относящихся к математике и математическому моделированию. Ряд пакетов в нашей литературе описан впервые. Значительное внимание уделено визуализации результатов работы и описанию сотен примеров применения системы MATLAB и ее расширений.

Для инженеров, научных работников, студентов и преподавателей университетов и вузов.

MATLAB and Simulink are registered trademark of The MathWorks Inc.

Blockset, Toolbox and its components are trademark of The MathWorks Inc.

### **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. Передать заказ по электронной почте на адрес: ***magazin@solon-r.ru***.

***Бесплатно*** высылается каталог издательства по почте.

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

Через Интернет вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-Пресс». Для этого надо послать пустое письмо на робот-автоответчик по адресу: ***katalog@solon-r.ru***.

Получать информацию о новых книгах нашего издательства вы сможете, подписавшись на рассылку новостей по электронной почте. Для этого пошлите письмо по адресу: ***news@solon-r.ru***. В теле письма должно быть написано слово SUBSCRIBE.

По вопросам приобретения обращаться:

**ООО «Альянс-книга»**

Тел: (095) 258-91-94, 258-91-95, ***www.abook.ru***

ISBN 5-98003-209-6

© Макет и обложка «СОЛОН-Пресс», 2010

© В. П. Дьяконов, 2010

## Глава 2. Подготовка электронных документов

### 2.1. Пакет расширения Notebook

#### 2.1.1. Назначение приложения Notebook

Notebook (Блокнот) — это специальное приложение системы MATLAB, позволяющее готовить с помощью текстового процессора (редактора) Microsoft Word 6.0/7.0/8.0/2000/XP [40] электронные документы (книги) с полноценным текстовым описанием, с различным стилевым оформлением и «живыми» примерами. Таким образом, это средство — очередное достижение разработчиков MATLAB в визуализации всех этапов работы с системой. Во всех новейших версиях MATLAB используется Notebook версии 1.5.2. Далее рассматривается работа с этим приложением в среде операционной системы Microsoft Window XP.

Как вы могли убедиться из первой главы, основой MATLAB является решатель математических задач с довольно скромным интерфейсом и скромными возможностями стилизации текстов. В части последнего неоспоримым преимуществом обладают текстовые процессоры класса Word, которые позволяют в рамках одного документа создавать описания с любым стилем, цветом и размером символов, включать в это описание рисунки и иллюстрации, математические формулы и графики функций. Однако эти объекты не могут видоизменяться при изменении исходных данных описываемых задач. Можно сказать, что текстовые процессоры позволяют готовить обычные «мертвые» книги по математическим расчетам.

Notebook обеспечивает объединение возможностей текстовых процессоров класса Word с возможностями системы MATLAB путем включения в произвольные тексты документов, создаваемых этими редакторами, действующих ячеек ввода и вывода. При этом изменение исходных данных в ячейках ввода ведет к изменению результатов вычислений в связанных с ними ячейках вывода. Это и обеспечивает «оживление» отдельных примеров и электронных книг на базе приложения Notebook. В ячейках вывода может отображаться любая информация — числа, векторы, матрицы, рисунки и т. д.

Здесь надо особо отметить, что MATLAB не позволяет готовить документы, в которых размещены рисунки — они создаются в отдельных окнах. Нельзя в MATLAB отображать и математические формулы в их естественном виде. Это затрудняет чтение таких документов. Документы, которые готовит приложение Notebook, могут содержать все эти элементы и выглядят как страницы книги.

В основе Notebook лежит механизм *динамической связи* (DDE — Dynamic Data Exchange) между различными приложениями в операционных системах Windows 95/98. При этом возможна передача изменяемых данных из одного приложения в другое и наоборот. Приложение, передающее данные, называют сервером, а принимающее данные — клиентом. В системе «Word — MATLAB», по существу реализованной в Notebook, обе программы могут играть роли сервера и клиента.

#### 2.1.2. Установка Notebook

Создание документов — ноутбуков (от названия пакета) в MATLAB решено довольно оригинально. В частности, в ходе этого процесса в явной форме отсутствует процесс создания объектной связи между приложениями с помощью команды

Insert Object (Вставка объекта). Такая связь устанавливается автоматически — стоит лишь загрузить файл с именем `readme.doc` из папки PC в папке NOTEBOOK системы MATLAB. Когда Word (в нашем случае это Word 2003) выдаст сообщение о том, что текст загружаемого документа содержит макросы, надо подтвердить их загрузку — иначе приложение Notebook работать не будет.

Можно также дать команду `notebook` из окна MATLAB — при этом произойдет загрузка текстового редактора Word той версии, которая установлена на данном ПК. Однако в первый раз надо выполнить установку связи MATLAB с Word, исполнив команду:

```
>> notebook -setup
Welcome to the utility for setting up the MATLAB Notebook
for interfacing MATLAB to Microsoft Word
Choose your version of Microsoft Word:
[1] Microsoft Word 97
[2] Microsoft Word 2000
[3] Microsoft Word 2002 (XP)
[4] Exit, making no changes
```

Теперь надо указать версию Word в виде номера:

```
Microsoft Word Version: 3
```

Диалог нормально завершается выводом сообщения:

```
Notebook setup is complete.
```

Приведенные далее примеры даны для Microsoft Office Word 2003. Он хотя не входит в указанный список версий, тем не менее благополучно стыкуется с MATLAB при указании версии [3] (это не литературная ссылка).

Более простым способом инсталляции приложения Notebook является загрузка в Word файла `readme.doc` из папки PC в папке NOTEBOOK системы MATLAB. Начало загрузки этого файла представлено на рис. 2.1. Здесь видно окно загрузки файла и сообщение о том, что он содержит макросы.

Этот файл (как и любой файл документа класса Notebook) обеспечивает следующее:

- запускает систему MATLAB;
- устанавливает динамическую объектную связь DDE между MATLAB и Word;
- задает макросы для обработки специальных типов ячеек Notebook;
- создает новое меню Notebook в строке меню Word;
- поддерживает стили ячеек Notebook и текста Word.

Поскольку файл `readme.doc` содержит нужные для работы Notebook макросы, то нужно исполнить команду «Не отключать макросы». При этом содержимое файла будет видно в окне просмотра окна загрузки файла (рис. 2.2).

Нажав кнопку Открыть, можно загрузить файл в текстовый процессор Word. Однако, если система MATLAB не была запущена, то в окне с текстом файла появится сообщение об этом, представленное на рис. 2.3. Возможно также появление и окна с предложением обеспечить доступ к файлу запуска MATLAB. Во избежание этих осложнений проще запустить MATLAB перед загрузкой файла `readme.doc`.

После успешного запуска MATLAB обеспечена совместная работа этой системы с приложением Notebook.

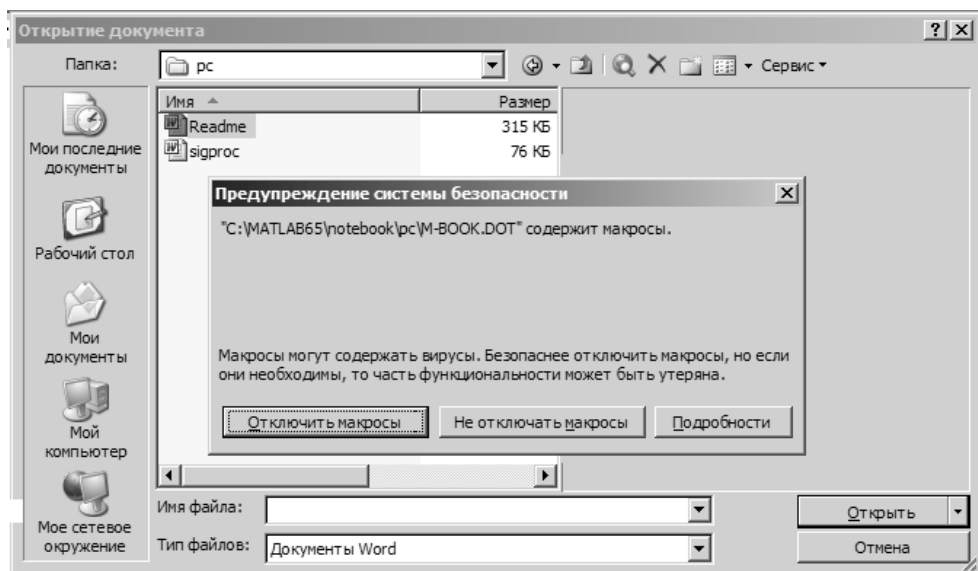


Рис. 2.1. Начало загрузки файла *readme.doc* в текстовый процессор Word

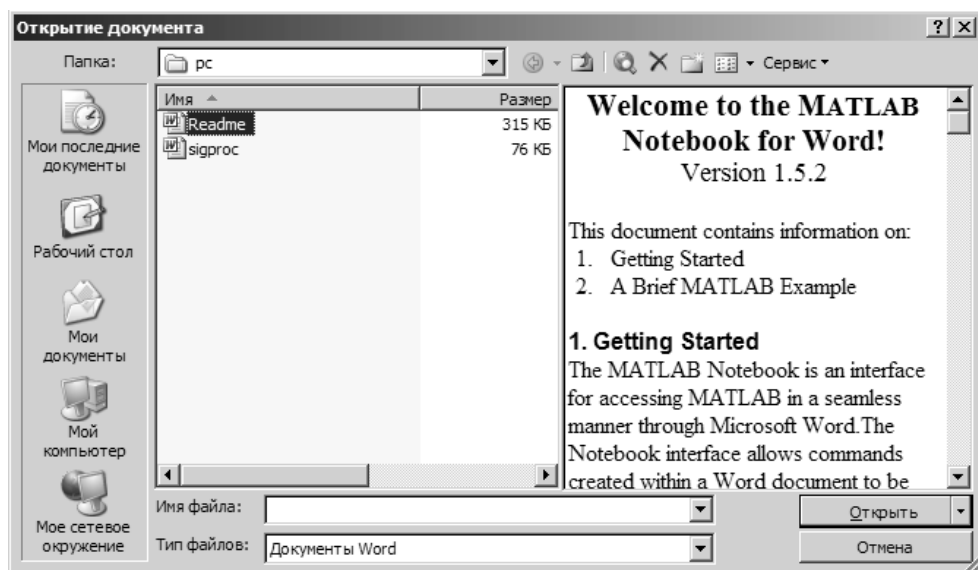
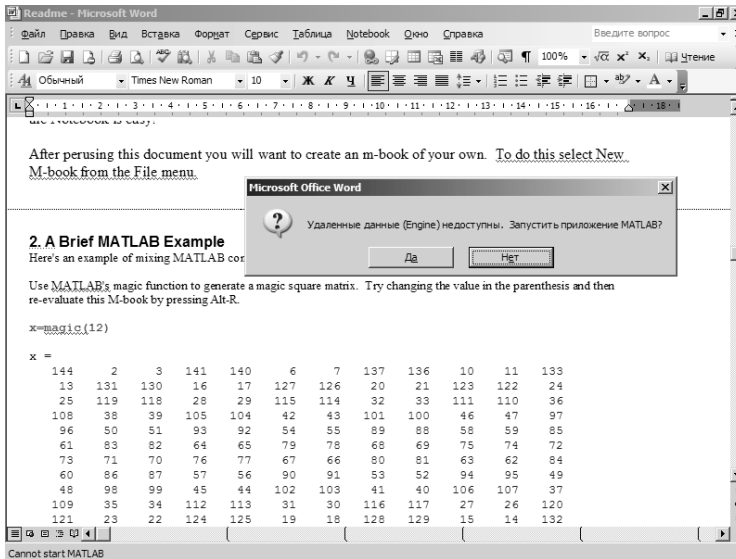
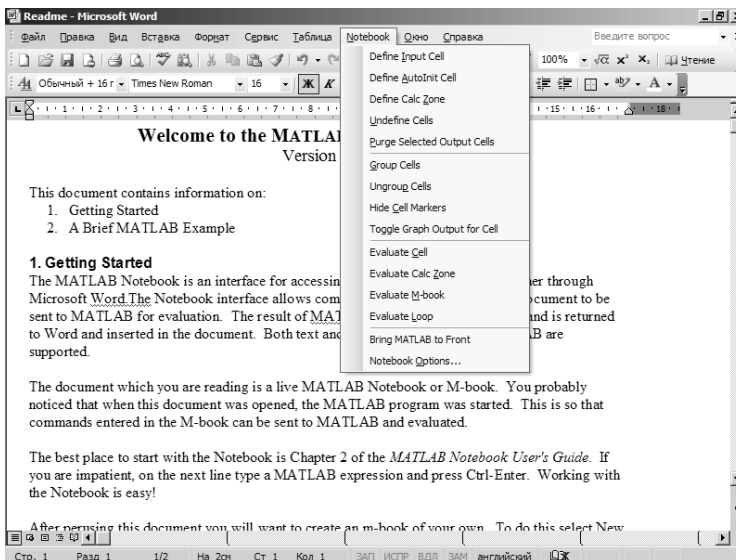


Рис. 2.2. Просмотр загружаемого файла *readme.doc*

## 2.2. Начало работы с Notebook

### 2.2.1. Изменения интерфейса текстового процессора Word

В начале процесса загрузки файла вы увидите момент загрузки системы MATLAB — появление рисунка с ее логотипом. В конце процесса загрузки появится текст файла *readme*, как показано на рис. 2.4.

Рис. 2.3. Текст загруженного файла *readme.doc* с сообщением о запуске *MATLAB*Рис. 2.4. Окно текстового процессора *Word* с загруженным файлом *readme*

Внимательный читатель тут же отметит некоторые необычные свойства окна текстового процессора Word. Первое, что бросается в глаза при сравнении рис. 2.1 и 2.4, это появление в строке меню нового меню *Notebook*, которое на рис. 2.1 отсутствует. Это меню содержит множество команд, относящихся к приложению *Notebook*, созданному на основе текстового процессора Word. В раскрытом виде меню *Notebook* показано на рис. 2.4. Кроме того, в позиции *Файл* меню Word появляется новая позиция *New M-book*, открывающая окно для подготовки новых *Notebook*-документов.

## 2.2.2. Эволюция магической матрицы

Файл `readme.doc` содержит несколько наглядных примеров для демонстрации возможностей Notebook. Для оценки этих возможностей достаточно просмотреть файл и остановиться на разделе «A Brief MATLAB Example». Часть документа (рис. 2.5), заключенная в жирные квадратные скобки, представляет собой ячейки ввода и вывода, динамически связанные с решателем системы MATLAB. Скобки можно убрать, исполнив команду `Hide Cell Markers` в новой позиции меню Notebook.

В данном примере хорошо видна ячейка ввода, в которой определена операция задания большой магической матрицы:

```
x=magic(12)
```

Под ней показана ячейка вывода, реализующая вывод магической матрицы размера  $12 \times 12$ . На рис. 2.5 виден также обычный англоязычный текст, набранный в редакторе Word разными стилями. Напоминаем, что под стилем понимается совокупность параметров текста: используемые наборы шрифтов, их размеры и стили, цвета символов, межстрочные расстояния, отступы абзацев и другие параметры. Word имеет обширные возможности в создании текстов различного стиля.

Теперь покажем, что ячейки MATLAB в тексте документа способны к изменению. Для этого обычным путем поместим маркер ввода в ячейку ввода и заменим параметр функции `magic`, равный 12, на значение 4. Не выводя маркера из этой ячейки, нажмем одновременно клавиши `Ctrl` и `Enter`. Вы тут же увидите, что ячейка вывода изменится — вместо магической матрицы размера  $12 \times 12$  появится магическая матрица меньшего размера —  $4 \times 4$ . Это и есть пример эволюции ячеек Notebook (рис. 2.6).

Далее вы увидите, что имеется также возможность вводить команды MATLAB в середину строк, создавать объединенные ячейки и осуществлять эволюцию как отдельных ячеек, так и всех ячеек документа одновременно.

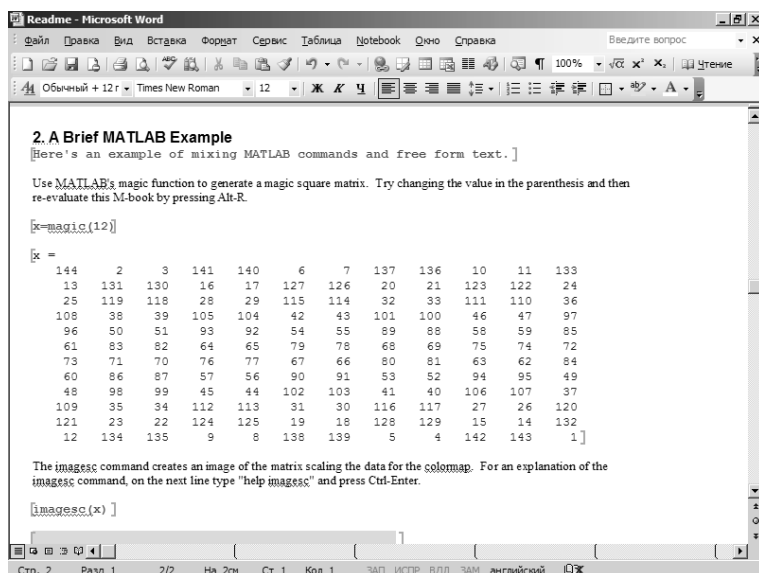


Рис. 2.5. Пример формирования магической матрицы размером  $12 \times 12$

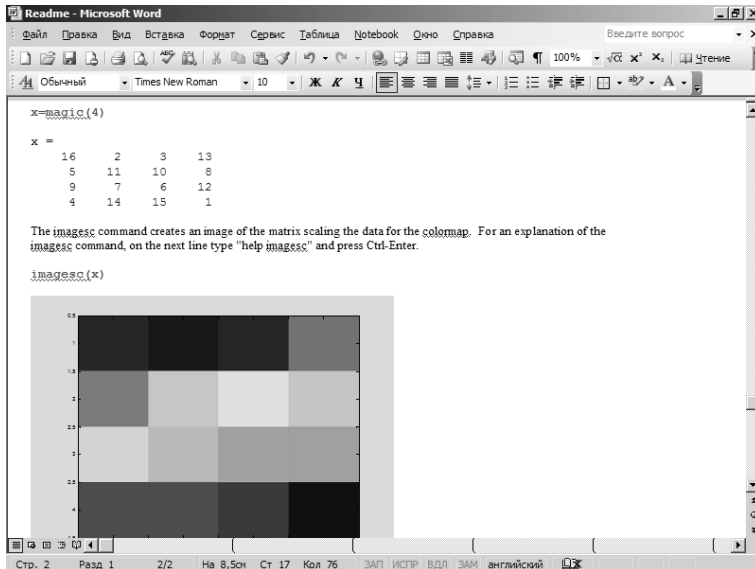
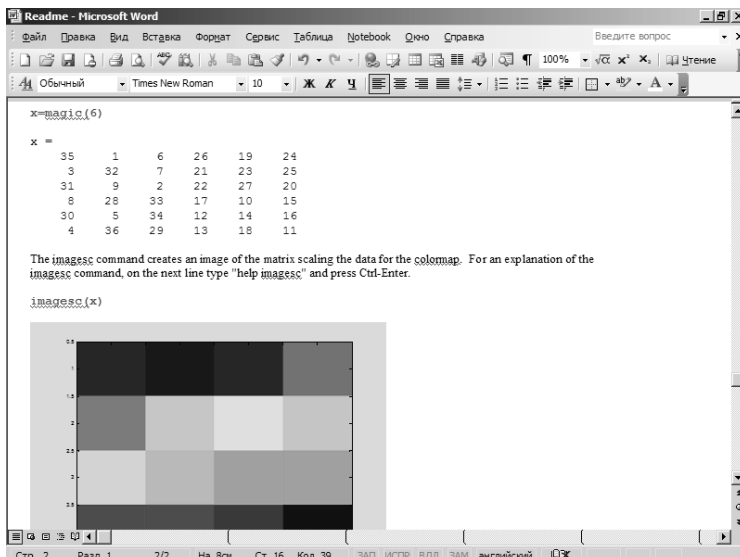


Рис. 2.6. Пример изменения размера магической матрицы

### 2.2.3. Эволюция рисунка

Пролистав документ `readme` чуть дальше, мы увидим команду `images(x)`, которая дает графическое представление содержимого магической матрицы. При этом каждый ее элемент отображается квадратом с функциональной окраской, зависящей от значения элемента матрицы. Все это для матрицы размера  $4 \times 4$  показано на рис. 2.7.

Рис. 2.7. Магическая матрица размера  $4 \times 4$  и ее графическое представление



Теперь измените размер матрицы, например на  $6 \times 6$ , и создайте новую матрицу так, как это было описано выше. Далее поместите в ячейку с командой `images` маркер ввода и нажмите клавиши **Ctrl + Enter**. На рис. 2.8 видно, как изменилась картинка — число квадратиков на ней возросло. Это и есть пример эволюции рисунка.

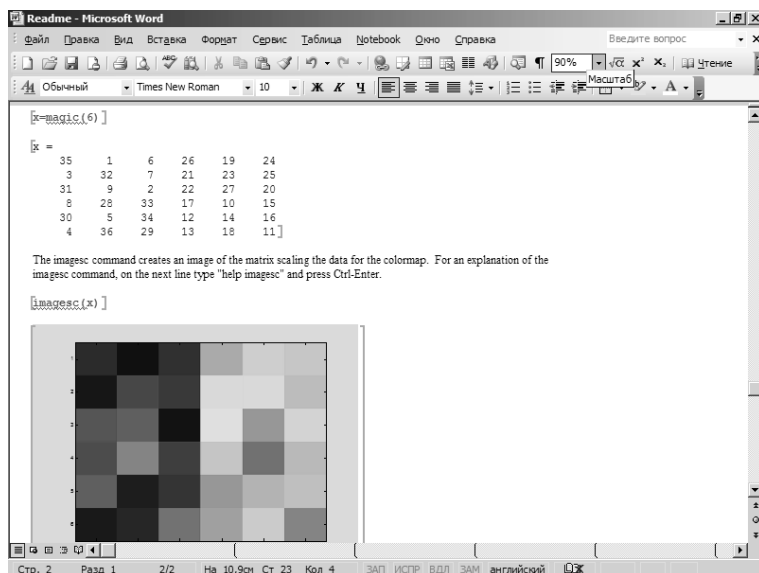


Рис. 2.8. Магическая матрица размера  $6 \times 6$  и ее графическое представление

Таким образом, вы убедились, что эволюция при изменении исходных данных возможна для выходных ячеек разного типа — в нашем случае для вывода матрицы и ее графического представления. И все это происходит на фоне обычного текстового оформления документа.

## 2.3. Создание документов класса Notebook

### 2.3.1. Открытие нового документа класса Notebook

Для создания своего Notebook откройте меню **Файл** текстового процессора при загруженном в него файле `readme`. Вы обнаружите в этом меню новую команду **New M-book (Создание новой М-книги)** — рис. 2.9. Выполнив ее, вы увидите пустое окно, в котором можно вводить обычный текст. При этом правила ввода текста полностью совпадают с таковыми для текстового процессора Word. В частности, вы можете задавать любые стили и выделения в текстовой части создаваемого Notebook.

Иногда из-за неточностей в установке файловой структуры такой способ не дает положительного результата. На этот случай в каталоге **NOTEBOOK** предусмотрено два «пустых» файла шаблонов: `M-book.dot` (для Word 97 и более поздних версий) и `Mbook95.dot` (для Word 95). Загрузив эти файлы, можно установить Word для подготовки документа в виде Notebook, причем окно документа будет пустым и готовым для задания нового документа в формате шаблона.

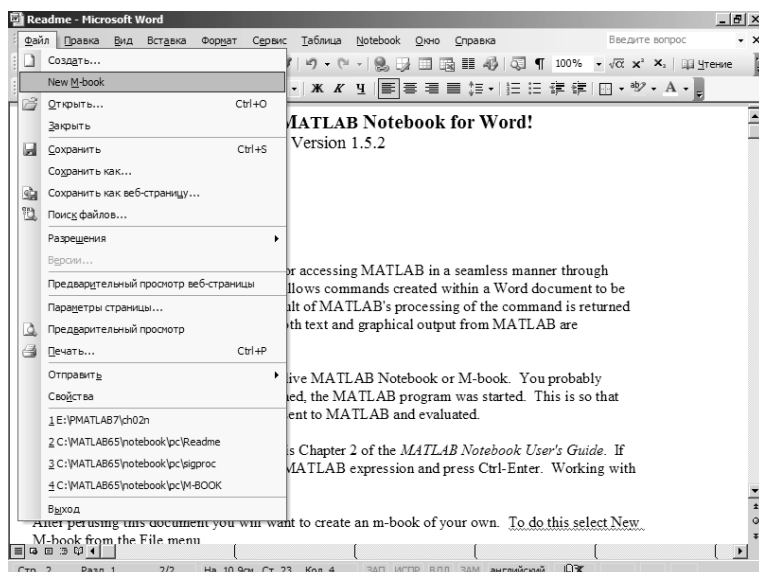


Рис. 2.9. Подготовка к созданию нового документа класса Notebook

### 2.3.2. Пример создания документа класса Notebook

На рис. 2.10 показан созданный Notebook, который поясняет, как выполнить построение графика трех функций. Вначале в нем введен абзац текста с описанием создания ячейки ввода.

Для создания ячейки ввода надо установить маркер ввода на свободную строку и исполнить команду Define Input Cell в меню Notebook текстового процессора

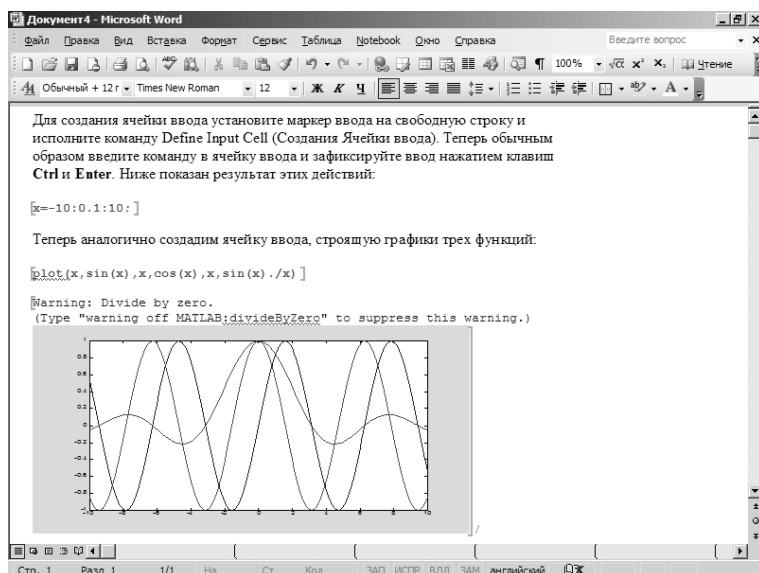


Рис. 2.10. Созданный новый Notebook

Word. После этого вводится текст команды MATLAB, который затем фиксируется одновременным нажатием клавиш Ctrl и Enter (или исполнением команды Evaluate Cell из меню Notebook ). Если ячейка ввода должна порождать ячейку вывода, то она тут же появится. В первой команде  $x = -10:0.1:10$ ; оператор «;» блокирует вывод, поэтому ячейка вывода не появляется.

Далее аналогично введем команду построения графика трех функций (см. рис. 2.10). Теперь, после нажатия клавиш Ctrl + Enter, тут же появится ячейка вывода с графиком трех функций. Установив в нее курсор мыши и дважды щелкнув левой кнопкой, можно наблюдать выделение графика и появление в его рамке прямоугольников, за которые можно «уцепиться» курсором мыши, чтобы изменить размеры графика.

### 2.3.3. Ячейки ввода MATLAB в тексте Word

Ячейки ввода MATLAB можно ввести прямо в текст документа. Для этого текст ячейки ввода набирается в Word как обычный текст. Затем он выделяется (с помощью мыши или клавиш перемещения по горизонтали при нажатой клавише Shift) и фиксируется нажатием клавиш Ctrl + Enter или исполнением команды Evaluate Cell из меню Notebook.

### 2.3.4. Преобразование текстов Word в ячейки ввода

Иногда желательно создать Notebook из самого обычного файла редактора Word. Для этого надо создать новый Notebook и загрузить нужный файл, используя команду Файл (File) меню Вставка (Insert). В созданный таким образом шаблон Notebook можно добавить ячейки ввода MATLAB.

### 2.3.5. Математические формулы в Notebook

В документы Notebook можно вводить математические формулы любого вида. Для этого достаточно воспользоваться встроенным в Word редактором математических формул. Наряду с файлом readme.doc в новых версиях MATLAB обычно поставляется файл sigprog.doc, содержащий документ с описанием свертки матриц для обработки сигналов. Начало этого документа представлено на рис. 2.11 и дает прекрасное представление о подготовке документов с математическими формулами.

### 2.3.6. Сохранение документов класса Notebook

Созданный Notebook записывается так же, как любой другой документ Word. Если нужно сохранение Notebook с заданным именем, то надо исполнить команду Save As (Сохранить как) из меню File (Файл) главного меню. Появится стандартное окно записи файла (рис. 2.12), и его можно записать как файл документа с расширением .doc.

Если использовался шаблон, то это будет окно шаблона. В этом случае файл записывается с расширением .dot. При закрытии последнего из ряда документов приложение Notebook создает окно с запросом о том, нужно ли закрыть MATLAB. Для редактирования уже созданного Notebook достаточно загрузить его с помощью команды Открыть из меню Файл.

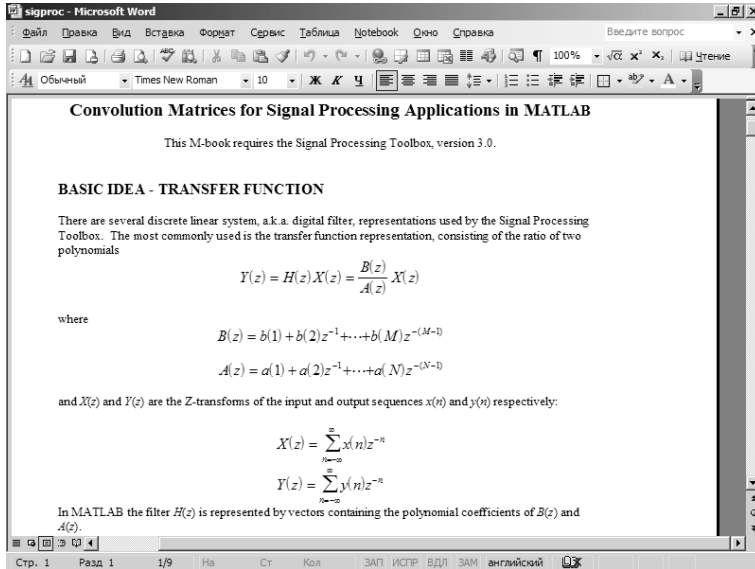


Рис. 2.11. Документ класса Notebook с математическими формулами

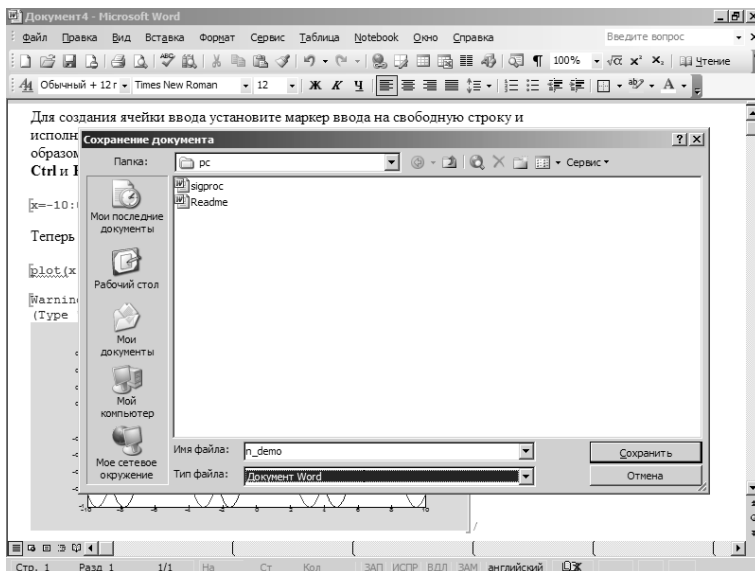


Рис. 2.12. Запись Notebook на жесткий диск

## 2.4. Меню Notebook

Возможности создания М-книг, или документов класса Notebook, намного шире описанных выше. Далее дается полное описание операций и команд меню Notebook, появляющегося в строке меню текстового процессора Word. Их применение позволяет создавать М-книги или документы типа Notebook с особыми

свойствами, которые могут понадобиться для построения обучающих или демонстрационных программ.

### 2.4.1. Создание ячейки ввода

Команда Define Input Cell (Alt + D) формирует ячейку ввода. Если маркер ввода находится в начале абзаца, то весь абзац преобразуется в ячейку ввода. Если команда используется при наличии выделенного фрагмента текста, то этот фрагмент преобразуется в ячейку ввода. Ячейка автостарта (см. ниже) также преобразуется в ячейку ввода, если в ней размещен маркер ввода. Пустая строка с маркером ввода становится ячейкой ввода после набора нужного выражения и его фиксации нажатием клавиш Ctrl + Enter.

Текст ячейки ввода обрамляется жирными квадратными скобками — [Текст]. Используется стиль Input с жирным шрифтом Courier New темно-зеленого цвета размером 10 пунктов.

### 2.4.2. Создание ячейки автостарта

Команда Define Autolnit Cell создает ячейку автостарта. Это ячейка, которая будет исполняться сразу после загрузки М-книги в текстовый процессор Word. Тут уместно отметить, что обычные ячейки (без автостарта) не эволюционируют без специальной команды. Ячейки автостарта обязательно эволюционируют и выдают результаты, соответствующие имеющимся в М-книге входным данным.

Правила применения этой команды те же, что были описаны для предшествующей команды. Текст соответствующей ячейки стиля Autolnit имеет темно-синий цвет (шрифт Courier New, размер 10 пунктов).

### 2.4.3. Создание зоны вычислений

Команда Define Calc Zone превращает выделенный текст (с ячейками ввода и вывода) в некоторую *зону вычислений*, решающую определенную задачу. Таких зон в М-книге может быть много, и они могут использоваться для решения ряда задач. Примером, где такие зоны полезны, являются сборники различных задач с действующими примерами.

### 2.4.4. Преобразование ячеек MATLAB в обычный текст

Команда Undefine Cells преобразует выделенные ячейки в обычный текст. Обрамления ячеек при этом убираются, а текст представляется стилем Обычный (Normal). Если выделений текста нет, а маркер ввода стоит на ячейке MATLAB, то именно эта ячейка преобразуется в текст.

### 2.4.5. Удаление ячеек вывода

Команда Purge Output Cell удаляет ячейки вывода. Если надо удалить одну ячейку вывода, достаточно разместить в ней маркер ввода и исполнить данную команду. Для удаления нескольких ячеек их надо предварительно выделить. При этом можно выделить и весь текст М-книги, содержащей ячейки вывода.

### 2.4.6. Создание многострочной ячейки ввода

Команда Group Gells объединяет все ячейки ввода в выделенной части документа в *группу* ячеек ввода. При этом выделенный текст размещается после этой группы,

за исключением той части текста, которая размещена до первой ячейки. Ячейки вывода, имеющиеся в выделенном тексте, удаляются. Если первая ячейка ввода имеет статус ячейки автостарта, то такой статус приобретают все ячейки группы. Группе ячеек можно придать этот статус и с помощью команды `Autolnit Cell`.

#### **2.4.7. Преобразование группы ячеек в ячейки ввода**

Команда `Ungroup Cells` преобразует группу ячеек в обычные ячейки ввода или ячейки автостарта. Ячейки вывода, связанные с преобразуемыми ячейками, удаляются. Для преобразования надо указать группу путем размещения маркера ввода в конце строки, завершающей группу, или в ячейке вывода, связанной с выделенной группой ячеек.

#### **2.4.8. Управление показом маркеров**

Как уже указывалось, обычно ячейки ввода и вывода MATLAB отмечаются жирными серыми квадратными скобками (маркерами), отличными от обычных квадратных скобок. Маркеры видны только на экране дисплея. Команда `Hide/Show Cell Markers` позволяет убрать или, напротив, включить показ маркеров. При печати М-книг маркеры не печатаются независимо от того, видны они на экране дисплея или нет.

#### **2.4.9. Пуск оценки ячеек**

Команда `Evaluate Cell` (Оценка Ячейки) направляет текущую ячейку ввода или группу ячеек в решатель MATLAB для проведения необходимых вычислений или обработки данных. Этот процесс принято называть *оцениванием* (`evaluate`) или по-просту *вычислением* ячейки. Результат, в том числе и в виде сообщений об ошибках (они выводятся красным цветом), направляется в ячейку вывода текстового редактора Word. Ячейка ввода (или группа ячеек) считается текущей, если маркер ввода находится в ее поле, в конце ее строки или в связанной с ней ячейке вывода. Выделенная ячейка также считается текущей.

#### **2.4.10. Пуск оценки зоны**

Команда `Evaluate Calc Zone` (Оценка вычисляемой зоны) вызывает пересчет текущей зоны вычислений. Зона считается текущей, если в ней размещен маркер ввода. Для каждой ячейки ввода в зоне создается ячейка вывода.

#### **2.4.11. Пуск оценки всей М-книги**

Команда `Evaluate M-book` вызывает пересчет всех ячеек ввода или групп ячеек для текущей М-книги. Текущей является та книга, текст которой (или его часть) виден в активном окне текстового процессора Word. Заметим, что Word может работать с несколькими М-книгами поочередно. При этом все они загружены в свои окна, но лишь одно окно (видимое на экране) является активным и текущим.

Вычисления начинаются от начала М-книги и продолжаются до ее конца. Результаты вычислений поступают в ячейки вывода, а если каких-либо выходных ячеек еще нет, то они создаются. Рекомендуется применять эту команду в конце отладки и редактирования М-книги, чтобы соблюсти соответствие между модифицированными ячейками ввода и их ячейками вывода.

### 2.4.12. Циклическая оценка

Выделенную ячейку ввода или группу ячеек можно выполнить циклически с помощью команды Evaluate Loop (Циклическая оценка). Рис. 2.13 показывает подготовку к такой оценке. В первой строке ввода задано значение переменной  $i=0$ . Во второй строке заданы вычисления  $i=i+1$  и  $\text{magic}(i)$ . Первоначально, таким образом, выдается магическая матрица размера  $1 \times 1$ .

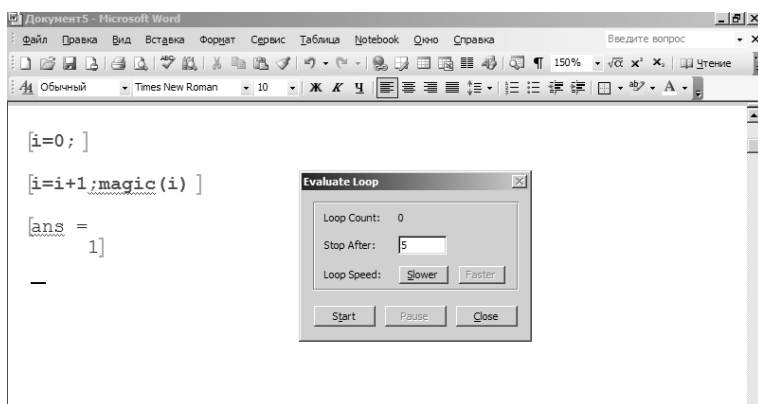


Рис. 2.13. Подготовка к циклической оценке заданной ячейки ввода

В правой части окна рис. 2.13 видно диалоговое окно Evaluate Loop, которое появляется при исполнении команды Evaluate Loop (Циклическая оценка). В нем имеется поле Stop After (Остановить после), задающее число циклов оценки. Кнопки Slower (Медленно) и Faster (Быстро) задают (условно) медленную и быструю оценку текущей ячейки ввода — в нашем случае это вторая ячейка из двух, показанных на рис. 2.13.

Запустив циклический просмотр нажатием кнопки Start, можно наблюдать построение матриц постоянно увеличивающегося размера  $i$ . По завершении циклов можно увидеть результаты, показанные на рис. 2.14. На ваших глазах прои-

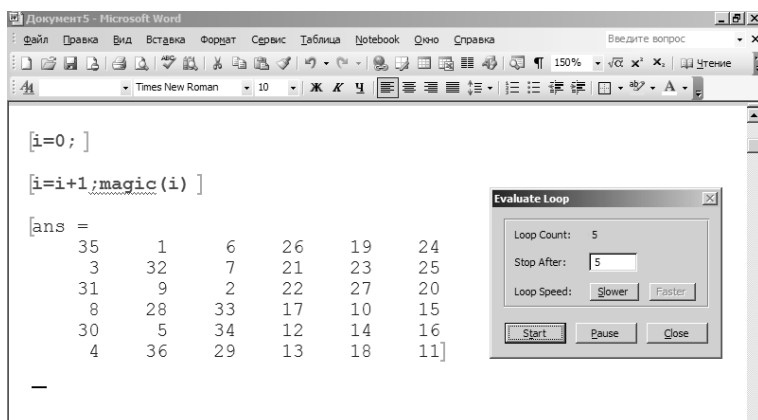


Рис. 2.14. Конец циклической оценки

зойдет вывод магических матриц с размером от  $1 \times 1$  до  $6 \times 6$ , так что в конечном счете будут выведена такая матрица размера  $6 \times 6$ .

Можно приостановить циклическую оценку (если успеете!) нажатием кнопки Pause. А чтобы убрать окно управления циклической оценкой, следует нажать его кнопку Close (Закреть).

### 2.4.13. Вывод окна MATLAB на передний план

Команда Bring MATLAB to Front выводит на передний план командное окно MATLAB (рис. 2.15).

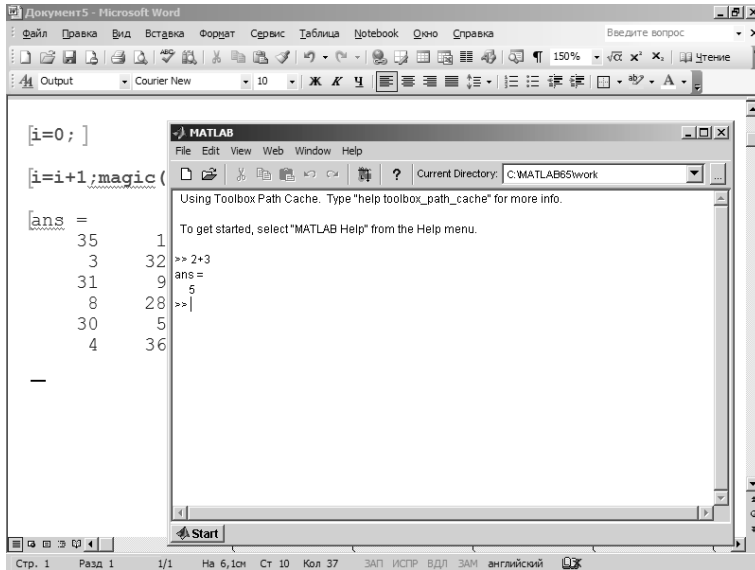


Рис. 2.15. Пример вывода окна системы MATLAB на передний план

Это может понадобиться, например, для выполнения тех или иных вычислений в ходе создания документа класса Notebook.

### 2.4.14. Установка опций Notebook

Последняя команда меню Notebook — Notebook Options — выводит окно установки опций, в основном связанных с параметрами вывода результатов вычислений. Это окно показано на рис. 2.16.

Окно содержит две панели. Первая панель — Numeric Format — позволяет задать вывод чисел в различных форматах. Для изменения формата служит выпадающий список, содержащий набор возможных форматов. Форматы представления чисел мы обсуждали в разделе «Форматы чисел — команда format» Урока 1. Опция Loose добавляет пробел между ячейками, а опция Compact — устраняет его. В последнем случае представление ячеек получается более компактным.

Следующая панель — Figure Options — содержит опции отображения графики и рисунков. Установка флажка Embed Figures in M-book обеспечивает размещение рисунков прямо в тексте книги — как разновидность ячеек вывода. Снятый флажок означает, что рисунки будут выведены в отдельных окнах.



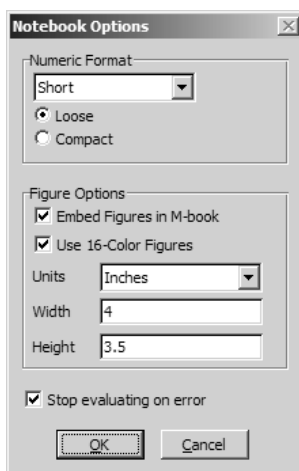


Рис. 2.16. Окно установки опций Notebook

Опция Use 16-Color Figures задает отображение рисунков в формате с 16 цветами, в противном случае отображается 256 цветов. Опция Units задает единицы измерения размеров графиков — в дюймах, сантиметрах или пикселях. Ширину и высоту рисунков задают соответственно параметры Width и Height.

Дополнительная опция Stop Evaluating on error останавливает оценку ячеек при возникновении ошибки. Если эта опция отключена, то эволюция продолжается даже при наличии ошибки с выдачей соответствующих предупреждающих сообщений.

## Глава 3. Символьные вычисления

### 3.1. Назначение пакета Symbolic Math

В систему MATLAB 6.5 SP1 входит новая версия 3.0.1 пакета расширения Symbolic Math Toolbox (в дальнейшем сокращенно Symbolic), которая базируется на ядре символьной математической системы Maple 8, лидирующей в области автоматизации аналитических решений [44—46]. Объективности ради надо отметить, что используется не последняя реализация Maple — Maple 9. Сейчас уже есть версия Maple 9. Заметно обновленная версия Symbolic Math Toolbox 3.1, применяемая в системе MATLAB 7, имеет ряд новых функций и также работает с ядром Maple 8 [46]. Новые функции этой системы описаны в конце этой главы.

Пакет Symbolic Math Toolbox придает системе MATLAB новые качества системы символьных (аналитических) вычислений, которые по общности результатов и точности вычислений часто намного и принципиально превосходят численные вычисления. Символьные вычисления пока используются намного реже, чем численные. Но возможность их применения это именно то, чего системе MATLAB не хватало с момента ее появления.

С помощью команды

```
>> help symbolic
```

можно получить перечень входящих в пакет команд и функций. Он представлен ниже:

```
Symbolic Math Toolbox.  
Version 3.0.1 (R13SP1) 27-Dec-2002  
Calculus.  
    diff      — Differentiate.  
    int       — Integrate.  
    limit     — Limit.  
    taylor    — Taylor series.  
    jacobian  — Jacobian matrix.  
    symsum    — Summation of series.  
Linear Algebra.  
    diag      — Create or extract diagonals.  
    triu      — Upper triangle.  
    tril      — Lower triangle.  
    inv       — Matrix inverse.  
    det       — Determinant.  
    rank      — Rank.  
    rref      — Reduced row echelon form.  
    null      — Basis for null space.  
    colspace  — Basis for column space.  
    eig       — Eigenvalues and eigenvectors.  
    svd       — Singular values and singular vectors.  
    jordan    — Jordan canonical (normal) form.  
    poly      — Characteristic polynomial.  
    expm      — Matrix exponential.
```

#### Simplification.

- simplify — Simplify.
- expand — Expand.
- factor — Factor.
- collect — Collect.
- simple — Search for shortest form.
- numden — Numerator and denominator.
- horner — Nested polynomial representation.
- subexpr — Rewrite in terms of subexpressions.
- subs — Symbolic substitution.

#### Solution of Equations.

- solve — Symbolic solution of algebraic equations.
- dsolve — Symbolic solution of differential equations.
- finverse — Functional inverse.
- compose — Functional composition.

#### Variable Precision Arithmetic.

- vpa — Variable precision arithmetic.
- digits — Set variable precision accuracy.

#### Integral Transforms.

- fourier — Fourier transform.
- laplace — Laplace transform.
- ztrans — Z transform.
- ifourier — Inverse Fourier transform.
- ilaplace — Inverse Laplace transform.
- iztrans — Inverse Z transform.

#### Conversions.

- double — Convert symbolic matrix to double.
- poly2sym — Coefficient vector to symbolic polynomial.
- sym2poly — Symbolic polynomial to coefficient vector.
- char — Convert sym object to string.

#### Basic Operations.

- sym — Create symbolic object.
- syms — Short-cut for constructing symbolic objects.
- findsym — Determine symbolic variables.
- pretty — Pretty print a symbolic expression.
- latex — LaTeX representation of a symbolic expression.
- ccode — C code representation of a symbolic expression.
- fortran — FORTRAN representation of a symbolic expression.

#### Special Functions.

- sinint — Sine integral.
- cosint — Cosine integral.
- zeta — Riemann zeta function.

# Содержание

<b>Введение .....</b>	<b>3</b>
Предупреждения .....	4
Благодарности и адреса для связи.....	5
<b>Глава 1. Работа с MATLAB и Simulink .....</b>	<b>7</b>
1.1. Назначение и особенности системы MATLAB .....	7
1.1.1. Назначение системы MATLAB .....	7
1.1.2. Новые реализации MATLAB 6.* .....	8
1.2. Возможности систем MATLAB.....	8
1.2.1. Возможности ранних версий MATLAB .....	8
1.2.2. Возможности версий MATLAB 6.0/6.1 .....	9
1.2.3. Возможности версии MATLAB 6.5 .....	12
1.2.4. Особенности версии MATLAB 6.5 + Service Pack 1.0 .....	12
1.3. Особенности матричных систем MATLAB.....	13
1.3.1. Интеграция с другими программными системами .....	13
1.3.2. Ориентация на матричные операции.....	14
1.3.3. Расширяемость системы.....	15
1.3.4. Мощные средства программирования .....	16
1.3.5. Визуализация и графические средства .....	16
1.3.6. О компиляции программ системы MATLAB .....	17
1.4. Установка и файловая система MATLAB 6.* .....	18
1.4.1. Системные требования.....	18
1.4.2. Инсталляция систем MATLAB 6.* .....	19
1.4.3. Файловая система MATLAB .....	20
1.5. Начало работы с MATLAB.....	21
1.5.1. Запуск MATLAB и работа в режиме диалога .....	21
1.5.2. MATLAB 6.5 в среде Windows XP .....	22
1.5.3. Запуск MATLAB 6.5 в среде Windows XP.....	23
1.5.4. О работе в MATLAB 7.....	25
1.6. Начало работы с MATLAB.....	25
1.6.1. Новый и старый облик системы MATLAB .....	25
1.6.2. Операции строчного редактирования .....	26
1.6.3. Команды управления окном.....	27
1.6.4. MATLAB в режиме прямых вычислений .....	28
1.6.5. О переносе строки в сессии.....	30
1.7. Основные объекты MATLAB .....	30
1.7.1. Понятие о математическом выражении .....	30
1.7.2. Действительные и комплексные числа .....	31
1.7.3. Форматы чисел.....	32
1.7.4. Константы и системные переменные .....	33
1.7.5. Текстовые комментарии.....	34
1.7.6. Переменные и присваивание им значений .....	34
1.7.7. Уничтожение определений переменных.....	35
1.7.8. Операторы и функции.....	36
1.7.9. Применение оператора : (двоеточие).....	37
1.7.10. Функции пользователя .....	39
1.7.11. Сообщения об ошибках и исправление ошибок .....	40
1.8. Формирование векторов и матриц .....	41
1.8.1. Особенности задания векторов и матриц.....	41

1.8.2. Объединение малых матриц в большую .....	44
1.8.3. Удаление столбцов и строк матриц.....	45
1.9. Операции с рабочей областью и текстом сессии .....	46
1.9.1. Дефрагментация рабочей области .....	46
1.9.2. Сохранение рабочей области сессии.....	46
1.9.3. Ведение дневника .....	47
1.9.4. Загрузка рабочей области сессии .....	48
1.9.5. Работа с редактором/отладчиком М-файлов .....	48
1.9.6. Файлы-сценарии и файлы-функции.....	50
1.9.7. Панель инструментов редактора/отладчика.....	52
1.9.8. Работа с точками останова.....	53
1.9.9. Завершение вычислений и работы с системой.....	53
1.10. Двумерная графика .....	53
1.10.1. Особенности графики системы MATLAB .....	53
1.10.2. Построение графика функций одной переменной .....	54
1.10.3. Построение в одном окне графиков нескольких функций .....	55
1.10.4. Графическая функция fplot.....	56
1.10.5. Столбцовые диаграммы .....	57
1.11. Трехмерная графика.....	58
1.11.1. Построение трехмерных графиков .....	58
1.11.2. Вращение графиков мышью .....	59
1.11.3. Контекстное меню графиков.....	59
1.12. Основы форматирования графиков.....	60
1.12.1. Форматирование двумерных графиков .....	60
1.12.2. Форматирование линий графиков.....	61
1.12.3. Форматирование маркеров опорных точек .....	62
1.12.4. Форматирование линий и маркеров для графика нескольких функций .....	63
1.12.5. Форматирование осей графиков.....	63
1.12.6. Нанесение надписей и стрелок прямо на график .....	65
1.12.7. Построение легенды и шкалы цветов на графике .....	67
1.12.8. Перемещение графика в графическом окне.....	68
1.12.9. Применение графической «лупы» .....	68
1.12.10. Обработка данных в графическом окне.....	68
1.12.11. Графики разного типа в одном окне.....	70
1.12.12. Низкоуровневая дескрипторная графика.....	71
1.12.13. Работа с камерой 3D-графики .....	73
1.13. Демонстрационные примеры MATLAB .....	75
1.14. Работа с основным пакетом расширения Simulink .....	76
1.14.1. Доступ к пакету расширения Simulink.....	76
1.14.2. Запуск моделей Simulink из среды MATLAB .....	76
1.14.3. Особенности интерфейса Simulink.....	77
1.14.4. Поиск и загрузка модели .....	77
1.14.5. Установка параметров компонентов модели .....	78
1.14.6. Установка параметров моделирования .....	79
1.14.7. Запуск процесса моделирования .....	81
<b>Глава 2. Подготовка электронных документов .....</b>	<b>82</b>
2.1. Пакет расширения Notebook.....	82
2.1.1. Назначение приложения Notebook .....	82
2.1.2. Инсталляция Notebook.....	82
2.2. Начало работы с Notebook .....	84
2.2.1. Изменения интерфейса текстового процессора Word.....	84
2.2.2. Эволюция магической матрицы .....	86
2.2.3. Эволюция рисунка .....	87

2.3. Создание документов класса Notebook .....	88
2.3.1. Открытие нового документа класса Notebook .....	88
2.3.2. Пример создания документа класса Notebook .....	89
2.3.3. Ячейки ввода MATLAB в тексте Word .....	90
2.3.4. Преобразование текстов Word в ячейки ввода .....	90
2.3.5. Математические формулы в Notebook .....	90
2.3.6. Сохранение документов класса Notebook .....	90
2.4. Меню Notebook .....	91
2.4.1. Создание ячейки ввода .....	92
2.4.2. Создание ячейки автостарта .....	92
2.4.3. Создание зоны вычислений .....	92
2.4.4. Преобразование ячеек MATLAB в обычный текст .....	92
2.4.5. Удаление ячеек вывода .....	92
2.4.6. Создание многострочной ячейки ввода .....	92
2.4.7. Преобразование группы ячеек в ячейки ввода .....	93
2.4.8. Управление показом маркеров .....	93
2.4.9. Пуск оценки ячеек .....	93
2.4.10. Пуск оценки зоны .....	93
2.4.11. Пуск оценки всей М-книги .....	93
2.4.12. Циклическая оценка .....	94
2.4.13. Вывод окна MATLAB на передний план .....	95
2.4.14. Установка опций Notebook .....	95
<b>Глава 3. Символьные вычисления .....</b>	<b>97</b>
3.1. Назначение пакета Symbolic Math .....	97
3.2. Демонстрационные примеры .....	100
3.2.1. Наборы примеров, вызываемые из командной строки .....	100
3.2.2. Примеры из вкладки Demos справки .....	101
3.3. Работа с числами, объектами и переменными .....	103
3.3.1. Задание символьных переменных .....	103
3.3.2. Функция создания символьных переменных sym .....	103
3.3.3. Функция создания группы символьных объектов syms .....	105
3.3.4. Функция создания списка символьных переменных findsum .....	106
3.3.5. Работа с обычными числами .....	106
3.3.6. Работа с комплексными числами .....	107
3.3.7. Математические выражения и функции .....	108
3.3.8. Матрицы с символьными элементами .....	109
3.4. Вывод и преобразования символьных выражений .....	109
3.4.1. Вывод символьного выражения .....	109
3.4.2. Представления выражений в форме LaTeX .....	110
3.4.3. Представление выражений в кодах языка C .....	111
3.4.4. Представление выражений в кодах языка Fortran .....	111
3.5. Контроль допустимости имен .....	111
3.6. Векторизация символьных выражений .....	112
3.7. Арифметика произвольной точности .....	112
3.7.1. Установка количества знаков чисел .....	112
3.7.2. Вычисления в арифметике произвольной точности .....	112
3.7.3. Обращения к функциям Maple на примере вычисления факториала .....	113
3.8. Символьные операции с матрицами .....	114
3.8.1. Задание или извлечение диагональных элементов матриц .....	114
3.8.2. Формирование верхней треугольной матрицы .....	115
3.8.3. Формирование нижней треугольной матрицы .....	115
3.8.4. Обращение матрицы .....	116

3.8.5. Вычисление детерминанта и ранга матрицы.....	116
3.8.6. Приведение матриц к треугольным формам .....	117
3.8.7. Нуль-пространство матрицы.....	117
3.8.8. Базис-пространство столбцов — colspace .....	117
3.8.9. Вычисление собственных значений и векторов матриц .....	118
3.8.10. Сингулярное разложение матриц — svd .....	119
3.8.11. Вычисление канонической формы Жордана.....	119
3.8.12. Вычисление характеристического полинома матриц — poly.....	120
3.8.13. Вычисление матричного экспоненциала .....	120
3.9. Символьные операции математического анализа .....	121
3.9.1. Вычисления производных .....	121
3.9.2. Вычисления интегралов .....	121
3.9.3. Вычисление пределов .....	124
3.9.4. Разложение выражения в ряд Тейлора .....	125
3.9.5. Вычисления матрицы Якоби .....	126
3.9.6. Вычисление сумм рядов.....	126
3.9.7. Решение алгебраических уравнений .....	127
3.9.8. Решение дифференциальных уравнений.....	128
3.10. Интегральные преобразования.....	129
3.10.1. Преобразования Фурье.....	129
3.10.2. Преобразования Лапласа.....	131
3.10.3. Z-преобразования .....	132
3.11. Символьные операции с выражениями .....	134
3.11.1. Упрощение выражений.....	134
3.11.2. Расширение выражений .....	134
3.11.3. Разложение выражений на простые множители .....	135
3.11.4. Комплектование по степеням.....	135
3.11.5. Приведение к рациональной форме.....	135
3.11.6. Приведение к схеме Горнера .....	136
3.11.7. Запись с подстановками .....	136
3.11.8. Обеспечение подстановок .....	136
3.11.9. Обращение функции.....	137
3.11.10. Суперпозиция функций.....	137
3.12. Преобразования объектов.....	138
3.12.1. Преобразование символьной матрицы в числовую .....	138
3.12.2. Преобразование вектора коэффициентов полинома в символьный полином .....	139
3.12.3. Преобразование символьного полинома в вектор его коэффициентов.....	139
3.12.4. Преобразование символьного объекта в строковый.....	139
3.13. Вычисление специальных функций.....	140
3.13.1. Интегральные синус и косинус .....	140
3.13.2. Дзета-функция Римана.....	140
3.13.3. W-функция Ламберта .....	141
3.13.4. Суммы Римана .....	141
3.14. Графические возможности пакета .....	142
3.14.1. Графики символьных функций .....	142
3.14.2. Калькулятор и графопостроитель.....	142
3.14.3. Контурные графики.....	145
3.14.4. Трехмерные графики параметрически заданных функций .....	146
3.14.5. Полярные графики.....	147
3.14.6. Графики поверхностей .....	147
3.15. Доступ к ресурсам ядра системы Maple .....	149
3.15.1. Доступ к ядру системы Maple .....	149

3.15.2. Численное вычисление Maple-функций .....	150
3.15.3. Вызов списка функций Maple.....	150
3.15.4. Получение справки по ядру Maple .....	151
3.15.5. Установка Maple-процедур.....	151
3.16. Комплексный пример на исследование функции.....	152
3.16.1. Задание функции и построение ее графика .....	152
3.16.2. Поиск и визуализация корней третьей производной .....	152
3.16.3. Нахождение и визуализация локальных экстремумов.....	154
3.17. Новые функции пакета Symbolic Math Toolbox 3.1.....	155
3.17.1. Новые функции округления чисел.....	155
3.17.2. Новая функция quotem.....	156
3.17.3. Новые функции Дирака dirac и Хевисайда heaviside .....	156
3.17.4. Новая функция сортировки sort .....	156
3.17.5. Новая функция вычисления коэффициентов полиномов с многими переменными.....	157
3.17.6. Новая функция reshape задания символьных массивов .....	157
3.17.7. Новые функции преобразования.....	157
3.17.8. Функции вычисления логарифмов.....	158
3.17.9. Функция вычисления по модулю .....	158
<b>Глава 4. Решение задач оптимизации .....</b>	<b>159</b>
4.1. Пакет оптимизации Optimization Toolbox.....	159
4.1.1. Назначение и возможности пакета .....	159
4.1.2. Применяемые алгоритмы.....	161
4.1.3. Общая формулировка задачи параметрической оптимизации .....	162
4.1.4. Безусловная оптимизация .....	162
4.1.5. Ньютоновские алгоритмы .....	163
4.1.6. Алгоритмы Ньютона—Гаусса и Левенберга—Марквардта .....	164
4.1.7. Минимизация при наличии ограничений.....	164
4.1.8. Многокритериальная оптимизация.....	165
4.1.9. Алгоритмы большой размерности .....	166
4.2. Практика оптимизации.....	167
4.2.1. Функции пакета Optimization Toolbox .....	167
4.2.2. Решение задач максимизации.....	167
4.2.3. Приведение ограничений-неравенств к стандартному виду.....	167
4.2.4. Введение дополнительных аргументов .....	168
4.2.5. Многомерная минимизация с ограничениями .....	168
4.2.6. Скалярная нелинейная минимизация с ограничениями .....	171
4.2.7. Решение задачи нелинейного программирования.....	171
4.2.8. Решение минимаксных задач .....	172
4.2.9. Поиск минимума без ограничений симплексным методом .....	173
4.2.10. Полубесконечная минимизация с ограничениями .....	174
4.3. Решение задач линейного и квадратичного программирования .....	175
4.3.1. Решение задачи линейного программирования.....	175
4.3.2. Решение задачи квадратичного программирования .....	176
4.4. Дополнительные примеры решения типовых оптимизационных задач .....	177
4.4.1. Минимизация без ограничений.....	177
4.4.2. Минимизация с ограничениями — нелинейными неравенствами .....	178
4.4.3. Минимизация с ограничениями на диапазоны изменения переменных.....	178
4.4.4. Использование вектора-градиента, аналитически задаваемого пользователем.....	179
4.4.5. Задача достижения цели.....	180
4.5. Решение минимизационных задач высокой размерности.....	182



4.5.1. Решение системы нелинейных уравнений с заданием якобиана.....	182
4.5.2. Решение системы нелинейных уравнений с представлением оценки якобиана в виде разреженной матрицы.....	183
4.5.3. Нелинейный МНК с вычислением оценок всех элементов якобиана .....	184
4.5.4. Минимизация нелинейной функции с использованием градиента и гессиана.....	185
4.5.5. Нелинейная минимизация с ограничениями в виде линейных равенств .....	186
4.5.6. Квадратичное программирование с ограничениями на диапазоны изменений переменных .....	187
4.5.7. Решение задачи линейного программирования.....	187
4.6. Демонстрационные примеры на оптимизацию.....	188
4.6.1. Выход к демонстрационным примерам .....	188
4.6.2. Минимизация тестовой функции Розенброка .....	188
4.6.3. Минимизация упругой поверхности .....	189
4.6.4. Минимизация размера изображения .....	191
4.6.5. Проблема конструирования молекулы .....	191
4.6.6. Примеры, выполняемые в командном окне .....	193
4.7. Функции решения систем уравнений .....	194
4.7.1. Обратное деление матриц — функция mldivide .....	194
4.7.2. Решение систем нелинейных уравнений.....	195
4.7.3. Поиск корней функции одной переменной.....	196
<b>Глава 5. Регрессия и статистика .....</b>	<b>197</b>
5.1. Регрессия в пакете Optimization Toolbox.....	197
5.1.1. Решение задачи линейного МНК без ограничений .....	197
5.1.2. Решение задачи линейного МНК при наличии ограничений.....	197
5.1.3. Регрессия для заданной функции.....	198
5.1.4. Решение задачи нелинейного МНК при средней и большой размерности.....	199
5.1.5. Решение задачи неотрицательного линейного МНК .....	200
5.2. Пакет подгонки кривых Curve Fitting Toolbox .....	200
5.2.1. Назначение пакета Curve Fitting Toolbox.....	200
5.2.2. Приближение для численности населения США .....	201
5.2.3. Начало работы с пакетом Curve Fitting.....	201
5.2.4. Оценка данных.....	202
5.2.5. Выполнение регрессии заданного типа .....	202
5.2.6. Графическая визуализация регрессии.....	204
5.2.7. Анализ результатов регрессии.....	206
5.2.8. Регрессия с уравнением пользователя .....	207
5.2.9. Пример регрессии с данными пользователя .....	208
5.2.10. Установка опций подгонки .....	211
5.2.11. Установка опций табличного вывода.....	211
5.2.12. Запись и загрузка сессий подгонки.....	212
5.2.13. Функции командного режима.....	213
5.3. Приближение данных сплайнами.....	213
5.3.1. Особенности многоинтервальной интерполяции и аппроксимации .....	213
5.3.2. Пакет Spline Toolbox.....	214
5.3.3. Работа с пакетом Spline Toolbox в командном режиме .....	214
5.3.4. Работа с GUI пакета Spline Toolbox.....	216
5.3.5. Сплайновая аппроксимация поверхности .....	218
5.4. Статистические расчеты .....	218
5.4.1. Пакет расширения по статистике Statistics Toolbox.....	218
5.4.2. Вычисление распределения и плотности вероятностей .....	219
5.4.3. Генерация случайных чисел.....	221

5.4.4. Вычисление среднего и дисперсии .....	221
5.4.5. Оценка параметров законов распределения.....	221
5.4.6. Дескриптивная статистика .....	222
5.4.7. Кластерный анализ .....	224
5.4.8. Линейные модели .....	227
5.4.9. Пошаговая регрессия.....	228
5.4.10. Нелинейные регрессионные модели .....	229
5.4.11. Проверка гипотез .....	230
5.4.12. Многомерные статистики.....	230
5.4.13. Метод главных компонент .....	231
5.4.14. Статистические графики .....	232
5.4.15. Статистический контроль в промышленности.....	234
5.4.16. Планирование эксперимента .....	235
5.4.17. Демонстрационные примеры.....	237
5.4.18. Функции записи/чтения файлов данных.....	239
5.5. Новые средства пакета Statistic Toolbox 5.0 .....	240
5.5.1. Инструмент Distribution Fitting Tool .....	240
5.5.2. Новые функции пакета Statistic Toolbox 5.0.....	243
5.5.3. Другие новые возможности пакета Statistic Toolbox 5.0.....	243
<b>Глава 6. Анализ и идентификация систем .....</b>	<b>245</b>
6.1. Теоретическая преамбула .....	245
6.1.1. Понятие о моделировании и моделях.....	245
6.1.2. Идентификация моделей и объектов моделирования .....	246
6.2. Основные характеристики (функции) систем .....	247
6.2.1. Передаточная характеристика.....	247
6.2.2. Импульсная характеристика .....	248
6.2.3. Переходная функция .....	248
6.2.4. Частотные характеристики.....	248
6.3. Теоретические модели объектов .....	248
6.3.1. Дифференциальные уравнения.....	248
6.3.2. Уравнения переменных состояния.....	249
6.3.3. Разностные уравнения.....	249
6.3.4. Z-преобразование .....	249
6.3.5. Модели авторегрессии .....	250
6.3.6. Модель для переменных состояния .....	251
6.4. Методы оценивания.....	251
6.4.1. Оценивание параметрических моделей .....	252
6.4.2. Оценивание импульсной характеристики .....	252
6.4.3. Оценивание спектров и частотных характеристик .....	253
6.5. Пакет расширения System Identification Toolbox.....	254
6.5.1. Назначение пакета System Identification .....	254
6.5.2. Графический интерфейс System Identification Toolbox.....	255
6.5.3. Пример работы в среде GUI.....	255
6.5.4. Исследование исходных данных.....	256
6.5.5. Построение модели.....	257
6.5.6. Оценка модели .....	259
6.5.7. Сохранение модели.....	264
6.6. Работа с пакетом System Identification в командном режиме.....	264
6.6.1. Работа с графическим интерфейсом .....	264
6.6.2. Имитация и предсказание.....	264
6.6.3. Манипуляции с данными.....	267
6.6.4. Непараметрическое оценивание .....	268
6.6.5. Параметрическое оценивание.....	271

6.6.6. Итерационное параметрическое оценивание .....	277
6.6.7. Задания структуры модели .....	279
6.6.8. Манипуляции с моделями .....	283
6.6.9. Выбор структуры модели .....	284
6.6.10. Преобразования модели .....	286
6.6.11. Анализ модели .....	287
6.6.12. Извлечение информации о модели .....	288
6.6.13. Проверка адекватности модели .....	289
6.7. Дополнительные возможности пакета System Identification .....	291
6.7.1. Средства демонстрации возможностей пакета .....	291
6.7.2. Идентификация с использованием блоков Simulink .....	293
6.7.3. Сохранение результатов .....	293
6.8. Идентификация систем в частотной области .....	294
6.8.1. О пакете Frequency Domain Identification .....	294
6.8.2. Частотная модель и метод оценивания .....	294
6.8.3. Функции пакета Frequency Domain Identification .....	296
<b>Глава 7. Проектирование и моделирование систем управления .....</b>	<b>297</b>
7.1 Пакет Control System Toolbox .....	297
7.1.1. Назначение пакета Control System .....	297
7.1.2. Классы вычислительных объектов пакета .....	298
7.1.3. Общая характеристика функций пакета .....	298
7.1.4. Вывод полного списка средств пакета .....	299
7.2. Работа со средствами графического интерфейса .....	302
7.2.1. Вызов графического интерфейса .....	302
7.2.2. Загрузка моделей .....	303
7.2.3. Работа с редактором свойств .....	306
7.2.4. Установки графического интерфейса .....	306
7.2.5. Окно интерфейса rltool .....	307
7.2.6. Работа с окном rltool .....	308
7.2.7. Коррекция системы .....	309
7.2.8. Дополнительные возможности графического интерфейса .....	311
7.3. Работа с пакетом Control System в командном режиме .....	312
7.3.1. Создание моделей стационарных систем .....	312
7.3.2. Получение информации об отдельных характеристиках модели .....	318
7.3.3. Преобразование моделей .....	319
7.3.4. «Арифметические» операции с моделями .....	320
7.3.5. Модели для переменных состояния .....	322
7.3.6. Модели динамики .....	327
7.3.7. Моделирование временного отклика систем .....	333
7.3.8. Создание и представление временных задержек .....	338
7.3.9. Моделирование частотного отклика систем .....	339
7.3.10. Композиция систем .....	345
7.3.11. Редукция порядка модели .....	346
7.3.12. Традиционное проектирование систем .....	348
7.3.13. Аналитическое конструирование регуляторов .....	350
7.3.14. Решение матричных уравнений .....	353
7.4. Работа с демонстрационными примерами .....	356
7.4.1. Вызов демонстрационных примеров .....	356
7.4.2. Виртуальная лаборатория по исследованию LCR-цепи .....	357
7.4.3. Моделирование динамики двигателя постоянного тока .....	357
7.4.4. Моделирование операционного усилителя с отрицательной обратной связью .....	359
7.5. Проектирование контроллера жесткого диска .....	362

7.5.1. Анализируемая модель .....	362
<b>Глава 8. Имитационное моделирование .....</b>	<b>368</b>
8.1. Инструментальные наборы Toolbox и Blockset.....	368
8.2. Пакет Nonlinear Control Design (NCD) Blockset.....	368
8.2.1. Назначение пакета NCD .....	368
8.2.2. Состав блоков пакета NCD.....	368
8.2.3. Демонстрация работы блоков пакета NCD .....	369
8.2.4. Оптимизация коэффициента передачи И-регулятора .....	369
8.2.5. Меню окна блока NCD Output.....	374
8.2.6. Настройка параметров PID-регулятора .....	375
8.2.7. Настройка параметров комплексного регулятора .....	377
8.2.8. Настройка параметров ПИ-регулятора для многомерного объекта .....	379
8.2.9. Особенности решаемых задач .....	381
8.3. Пакет расширения Fixed-Point .....	381
8.3.1. Библиотека пакета Fixed-Point .....	381
8.3.2. Нелинейные преобразования.....	383
8.3.3. Математические операции .....	384
8.3.4. Осуществление временной задержки .....	384
8.3.5. Преобразования вида V-F, F-F и F-V .....	385
8.3.6. Цифровой программный контроллер.....	386
8.3.7. Интерфейсный блок пакета Fixed Point .....	388
8.3.8. Дополнительные примеры применения пакета Fixed Point.....	389
8.4. Моделирование энергетических систем.....	392
8.4.1. Состав библиотек SimPowerSystemtems Blockset.....	392
8.4.2. Параметры и единицы их измерения.....	393
8.4.3. Источники электрической энергии и их применение.....	394
8.4.4. Амплитудная модуляция синусоидального сигнала .....	397
8.4.5. Библиотека компонентов Elements .....	397
8.4.6. Примеры моделирования RLC-цепей.....	399
8.4.7. Работа с блоком Powergui.....	401
8.4.8. Моделирование устройств с однофазными трансформаторами .....	404
8.4.9. Моделирование устройств с трехфазными трансформаторами .....	409
8.4.10. Выключатели и ограничители пиковых напряжений .....	409
8.4.11. Моделирование линий передачи .....	413
8.4.12. Моделирование линии передачи электроэнергии с компенсаторами.....	415
8.4.13. Состав библиотеки энергетической электроники.....	417
8.4.14. Моделирование устройств с коммутирующими блоками .....	418
8.4.15. Моделирование систем электропривода .....	425
8.4.16. Моделирование импульсного преобразователя с ключом на полевом транзисторе.....	427
8.4.17. Моделирование неуправляемых выпрямителей .....	429
8.4.18. Моделирование однофазных инверторов .....	429
8.4.19. Моделирование трехфазных инверторов .....	431
8.4.20. Моделирование высоковольтных систем передачи электроэнергии на постоянном токе .....	434
<b>Глава 9. Основы событийного моделирования.....</b>	<b>438</b>
9.1. Пакет Stateflow.....	438
9.1.1. Понятие о событийном моделировании .....	438
9.1.2. Назначение пакета Stateflow .....	438
9.1.3. Доступ к средствам Stateflow.....	439
9.1.4. Понятие о SF-диаграмме .....	439
9.2. Основные объекты SF-диаграмм .....	440

9.2.1. Состояния .....	440
9.2.2. Признаки памяти .....	440
9.2.3. Переходы .....	441
9.2.4. Признаки альтернативы .....	441
9.2.5. События .....	441
9.2.6. Процедуры .....	442
9.2.7. Данные .....	442
9.2.8. Описание объектов .....	443
9.3. Пример построения модели с SF-диаграммой .....	444
9.3.1. Работа с редактором SF-диаграмм .....	444
9.3.2. Установка параметров SF-диаграммы с помощью обозревателя .....	446
9.3.3. Сохранение модели с SF-диаграммой .....	447
9.4. Запуск, отладка и форматирование SF-диаграмм .....	447
9.4.1. Установка параметров запуска .....	447
9.4.2. Запуск модели .....	447
9.4.3. Работа с отладчиком SF-диаграмм .....	449
9.4.4. Средства отладки SF-диаграмм .....	451
9.4.5. Поиск объектов SF-диаграмм .....	452
9.4.6. Выбор стиля SF-диаграмм .....	452
9.4.7. Установка размера символов .....	452
9.5. Особенности пакета расширения Stateflow 5.1.1 .....	452
9.5.1. Новый редактор SF-диаграмм .....	452
9.5.2. Несколько простых примеров применения .....	453
9.6. Избранные примеры применения пакета Stateflow .....	455
9.6.1. Работа с демонстрационными примерами .....	455
9.6.2. Моделирование построения фрактала Мандельброта .....	457
9.6.3. Моделирование скользящего с трением бруска .....	457
9.6.4. Моделирование электрогидравлического механизма .....	459
9.6.5. Моделирование отказоустойчивой системы контроля топлива .....	459
<b>Глава 10. Проектирование и моделирование коммуникационных систем .....</b>	<b>462</b>
10.1. Пакеты Communications Blockset и Toolbox .....	462
10.1.1. Назначение пакетов .....	462
10.1.2. Основы работы .....	463
10.1.3. Вызов библиотек пакета из среды MATLAB .....	463
10.1.4. Вызов графического интерфейса пользователя .....	463
10.1.5. Доступ к библиотеке пакета Communications Blockset .....	465
10.1.6. Доступ к mdl-файлам из пакета Simulink .....	466
10.2. Работа с библиотеками Communications Blockset .....	466
10.2.1. Общие сведения о библиотеках .....	466
10.2.2. Задание сигналов .....	467
10.2.3. Примеры работы с источниками сигналов .....	468
10.2.4. Работа с виртуальными регистраторами .....	470
10.2.5. Моделирование кодирования и декодирования .....	472
10.2.6. Моделирование модуляторов и демодуляторов .....	473
10.2.7. Библиотеки канала .....	475
10.2.8. Библиотека модулей синхронизации .....	477
10.2.9. Работа с основными функциями .....	478
10.2.10. Работа с утилитами и функциями .....	480
10.2.11. Применение блоков детектирования ошибок и коррекции .....	481
10.2.12. Библиотека блоков Interleaving .....	484
10.2.13. Представление библиотек в виде функциональной схемы .....	484
10.3. Работа с демонстрационными примерами .....	486
10.3.1. Доступ к примерам из библиотеки в виде функциональной схемы .....	486

10.3.2. Пример моделирования сложной коммуникационной системы .....	486
10.3.3. Доступ к демонстрационным примерам пакета Communication Blockset из справки.....	488
10.3.4. Обзор избранных демонстрационных примеров раздела Illustrative Models .....	489
10.3.5. Обзор избранных демонстрационных примеров раздела Application-Specific Examples .....	496
10.4. MATLAB-функции пакета Communications Toolbox.....	498
10.4.1. Назначение пакета Communications Toolbox .....	498
10.4.2. Вызов полного списка функций.....	498
10.4.3. Вызов справки по конкретной функции .....	502
10.4.4. Функции построения источников сигналов и анализа ошибок.....	502
10.4.5. Функции кодирования источника сигнала.....	504
10.4.6. Помехоустойчивое кодирование.....	505
10.4.7. Низкоуровневые функции помехоустойчивого кодирования.....	507
10.4.8. Модуляция и демодуляция.....	507
10.4.9. Специальные фильтры.....	512
10.4.10. Утилиты и другие функции .....	514
10.4.11. Примеры применения Communications Toolbox .....	515
10.5. Пакеты расширения Communications для MATLAB 7.....	518
10.5.1. Новые возможности пакета Communications Toolbox 3.0.....	518
10.5.2. Графический интерфейс пользователя для анализа битовых ошибок.....	519
10.5.3. Новые библиотеки пакета Communications Blockset 3.0.....	520
<b>Глава 11. Обзор некоторых специальных пакетов.....</b>	<b>522</b>
11.1. Пакет решения систем дифференциальных уравнений в частных производных .....	522
11.1.1. Назначение пакета Partial Differential Equation .....	522
11.1.2. Работа с пакетом Partial Differential Equations в командном режиме.....	524
11.1.3. Работа с демонстрационными примерами справки.....	527
11.2. Работа с инструментом решения PDE .....	530
11.2.1. Вызов окна инструмента pdetool и его назначение .....	530
11.2.2. Пример подготовки к решению PDE.....	531
11.2.3. Визуализация триангуляции при решении PDE.....	532
11.2.4. Пример вывода результатов решения PDE .....	532
11.2.5. Установка типа и опций решения .....	534
11.2.6. Установка граничных условий.....	536
11.2.7. Адаптивный и нелинейный решатели PDE.....	538
11.3. Пакет моделирования механических систем и устройств .....	540
11.3.1. Назначение пакета SimMechanics и доступ к его библиотекам.....	540
11.3.2. Визуализация в стиле механики .....	542
11.3.3. Примеры моделирования механических систем .....	544
11.4. Пакет расширения со средствами виртуальной реальности.....	547
11.4.1. Назначение пакета Virtual Reality Toolbox .....	547
11.4.2. Что такое виртуальная реальность в пакете VR? .....	548
11.4.3. Программирование перемещения автомобиля.....	551
11.4.4. Блоки виртуальной реальности для Simulink .....	554
11.4.5. Пример моделирования движения автомобиля между пиками .....	555
11.4.6. Как создаются объекты виртуальной реальности .....	555
11.4.7. Моделирование отскока упругого шара от твердой поверхности .....	558
11.4.8. Моделирование левитации стального шарика в магнитном поле.....	559
11.4.9. Моделирование управления роботом трехмерной мышью .....	559
<b>Список литературы.....</b>	<b>561</b>