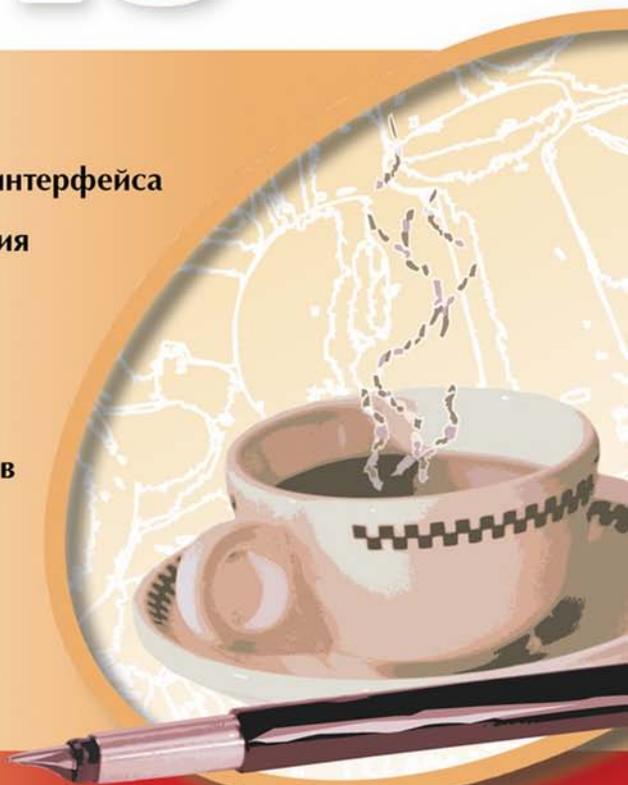


# Mathcad

# 13

Дмитрий Кирьянов

- Подробное описание интерфейса
- Символьные вычисления
- Численные методы
- Программирование
- Отладка и оформление расчетов
- Справочник по компонентам и функциям
- Советы пользователям предыдущих версий



Дмитрий Кирьянов

САМОУЧИТЕЛЬ

Mathcad

13

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2006

УДК 681.3.06  
ББК 32.973.26-018.2  
К43

**Кириянов Д. В.**

К43 Самоучитель Mathcad 13. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 528 с.: ил.  
ISBN 5-94157-849-0

Представлены основные сведения о Mathcad 13 и приемы работы с его математическим редактором. Рассматриваются типичные математические задачи и способы их решения с помощью Mathcad: алгебраические уравнения и оптимизация, линейная алгебра и специальные функции, обыкновенные дифференциальные уравнения и дифференциальные уравнения в частных производных, математическая статистика, интегрирование, дифференцирование и др. Подробно излагаются сведения, касающиеся профессионального оформления расчетов в Mathcad 13, и методы эффективной работы для опытных пользователей. Все листинги, приведенные в книге, автономны и работают вне каких-либо дополнительных модулей.

*Для широкого круга пользователей*

УДК 681.3.06  
ББК 32.973.26-018.2

**Группа подготовки издания:**

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Евгений Рыбаков</i>
Зав. редакцией	<i>Григорий Добин</i>
Редактор	<i>Алексей Семенов</i>
Компьютерная верстка	<i>Натальи Смирновой</i>
Корректор	<i>Наталья Першакова</i>
Дизайн серии	<i>Игоря Цырульникова</i>
Оформление обложки	<i>Елены Беляевой</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 22.12.05.  
Формат 70×100<sup>1/16</sup>. Печать офсетная. Усл. печ. л. 42,57.  
Тираж 3000 экз. Заказ №  
"БХВ-Петербург", 194354, Санкт-Петербург, ул. Есенина, 5Б.

Санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию № 77.99.02.953 Д.006421.11.04  
от 11.11.2004 г. выдано Федеральной службой по надзору  
в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Отпечатано с готовых диапозитивов  
в ГУП "Типография "Наука"  
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

# Содержание

<b>Введение</b> .....	<b>1</b>
<b>Часть I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ</b> .....	<b>3</b>
<b>Глава 1. Начинаем работу</b> .....	<b>5</b>
1.1. Назначение Mathcad.....	5
1.2. Знакомство с Mathcad.....	8
1.3. Интерфейс пользователя.....	16
1.3.1. Меню.....	16
1.3.2. Панели инструментов.....	19
1.3.3. Настройка панели инструментов.....	22
1.3.4. Рабочая область.....	26
Вид документа.....	26
1.3.5. Строка состояния.....	33
1.4. Справочная информация.....	33
1.4.1. Доступ к справочной информации.....	34
1.4.2. Стандартная справочная ситема.....	36
1.4.3. Ресурсы Mathcad.....	39
1.4.4. Путеводитель по ресурсам Mathcad.....	42
1.4.5. Дополнительные электронные книги и пакеты расширения.....	45
<b>Глава 2. Редактирование документов</b> .....	<b>49</b>
2.1. Документы Mathcad.....	49
2.1.1. Управление документами.....	49
2.1.2. Создание документа на основе шаблона.....	51
2.1.3. Сохранение документа.....	54
2.1.4. Автоматическое сохранение.....	57
2.1.5. Сохранение документа в формате HTML.....	58
2.1.6. Открытие существующего документа.....	60
2.1.7. Закрытие документа.....	60
2.2. Ввод и редактирование формул.....	61
2.2.1. Интерфейс редактора формул.....	61
2.2.2. Ввод формул.....	62
2.2.3. Перемещение линий ввода внутри формул.....	63

2.2.4. Изменение формул .....	64
2.2.5. Ввод символов, операторов и функций .....	70
2.2.6. Выбор стиля некоторых операторов .....	71
2.3. Текст и комментарии .....	73
2.3.1. Ввод текста .....	74
2.3.2. Редактирование текста.....	75
2.3.3. Импорт текста.....	75
2.3.4. Математические символы внутри текста.....	76
2.3.5. Гиперссылки .....	77
2.3.6. Комментарии и метаданные .....	77
2.4. Правка документа.....	81
2.4.1. Выделение фрагмента документа.....	81
2.4.2. Удаление фрагмента .....	82
2.4.3. Вырезание, копирование, вставка и перемещение части документа.....	82
2.4.4. Выравнивание регионов .....	83
2.4.5. Обновление вида документа .....	84
2.4.6. Поиск и замена .....	85
2.4.7. Отмена последнего действия .....	87
2.4.8. Проверка орфографии.....	87
2.5. Печать документа.....	88
2.6. Посылка документа по электронной почте .....	89

## **Глава 3. Вычисления..... 91**

3.1. Переменные и функции .....	91
3.1.1. Определение переменных .....	91
3.1.2. Присваивание переменным значений .....	92
3.1.3. Функции .....	94
3.1.4. Определение функции пользователя.....	95
3.1.5. Вывод значений переменных и функций.....	96
3.1.6. Символьный вывод .....	98
3.1.7. Допустимые имена переменных и функций.....	100
3.2. Операторы.....	102
3.2.1. Арифметические операторы.....	103
3.2.2. Вычислительные операторы .....	105
3.2.3. Логические операторы .....	109
3.2.4. Матричные операторы .....	110
3.2.5. Операторы выражения .....	111
3.2.6. Создание оператора пользователя.....	113
3.2.7. Именной оператор.....	115
3.3. Управление вычислениями .....	116
3.3.1. Режимы вычислений.....	116

3.3.2. Прерывание вычислений .....	117
3.3.3. Диалоговое окно <i>Worksheet Options</i> .....	118
3.3.4. Вычисления в ручном режиме .....	120
3.3.5. Оптимизация вычислений .....	121
3.3.6. Отключение вычисления отдельных формул .....	121
3.4. Отладка вычислений .....	122
3.4.1. Сообщения об ошибках .....	123
3.4.2. Отладка .....	124
<b>Глава 4. Типы данных .....</b>	<b>128</b>
4.1. Типы данных .....	128
4.1.1. Действительные числа .....	129
4.1.2. Комплексные числа .....	130
4.1.3. Встроенные константы .....	132
4.1.4. Строковые выражения .....	134
4.1.5. Тип данных NaN .....	135
4.2. Размерные переменные .....	135
4.2.1. Создание размерной переменной .....	136
4.2.2. Расчеты с размерными переменными .....	138
4.2.3. Выбор системы единиц .....	140
4.2.4. Определение новой размерности .....	141
4.3. Массивы .....	142
4.3.1. Доступ к элементам массива .....	143
4.3.2. Ранжированные переменные .....	144
4.3.3. Создание массивов .....	147
4.3.4. Отображение вывода векторов и матриц .....	154
4.4. Формат вывода числовых данных .....	156
4.4.1. Формат результата .....	157
4.4.2. Округление малых чисел до нуля .....	160
4.4.3. Вывод чисел в других системах счисления .....	161
4.5. Элементы управления .....	163
<b>Часть II. Точные вычисления .....</b>	<b>165</b>
<b>Глава 5. Символьные вычисления .....</b>	<b>167</b>
5.1. Способы символьных вычислений .....	167
5.2. Алгебраические вычисления .....	172
5.2.1. Упрощение выражений .....	172
5.2.2. Разложение выражений .....	174
5.2.3. Разложение на множители .....	174
5.2.4. Приведение подобных слагаемых .....	175

5.2.5. Коэффициенты полинома.....	176
5.2.6. Ряды и произведения .....	179
5.2.7. Разложение на элементарные дроби .....	180
5.2.8. Подстановка переменной .....	181
5.2.9. Матричная алгебра.....	182
5.3. Математический анализ.....	182
5.3.1. Дифференцирование .....	183
5.3.2. Интегрирование.....	184
5.3.3. Разложение в ряд Тейлора.....	185
5.3.4. Решение уравнений.....	188
5.4. Интегральные преобразования .....	189
5.4.1. Преобразование Фурье .....	189
5.4.2. Преобразование Лапласа .....	190
5.4.3. Z-преобразование .....	191
5.5. Дополнительные возможности символьного процессора.....	191
5.5.1. Применение функций пользователя .....	192
5.5.2. Получение численного значения выражения .....	193
5.5.3. Явные вычисления .....	194
5.5.4. Последовательности символьных команд .....	195
<b>Глава 6. Программирование.....</b>	<b>197</b>
6.1. Программирование без программирования .....	198
6.2. Язык программирования Mathcad .....	199
6.2.1. Основы программирования .....	199
6.2.2. Создание строки программного кода .....	200
6.2.3. Разработка программы.....	202
6.2.4. Локальное присваивание .....	203
6.2.5. Условные операторы.....	204
6.2.6. Операторы цикла.....	205
6.2.7. Возврат значения.....	208
6.2.8. Перехват ошибок.....	209
6.2.9. Отладка программ .....	210
6.3. Примеры программирования .....	211
<b>Часть III. Численные методы .....</b>	<b>213</b>
<b>Глава 7. Основные математические операции.....</b>	<b>215</b>
7.1. Интегрирование.....	215
7.2. Дифференцирование .....	219
7.3. Решение нелинейных алгебраических уравнений .....	223
7.3.1. Одно уравнение с одним неизвестным .....	224

7.3.2. Корни полинома .....	226
7.3.3. Системы уравнений.....	227
7.3.4. Приближенное решение уравнений .....	232
7.3.5. О символьном решении уравнений .....	233
7.4. Поиск экстремума функции .....	234
7.4.1. Поиск максимума и минимума функции .....	235
7.4.2. Условный экстремум .....	237
<b>Глава 8. Дифференциальные уравнения .....</b>	<b>239</b>
8.1. Задачи Коши для ОДУ .....	239
8.1.1. Одно обыкновенное дифференциальное уравнение .....	240
8.1.2. Системы ОДУ первого порядка .....	243
8.1.3. Решение систем ОДУ в одной заданной точке .....	247
8.1.4. Жесткие системы ОДУ .....	250
8.2. Краевые задачи для ОДУ .....	253
8.2.1. Задачи с граничными условиями на краях интервала .....	254
8.2.2. Задачи с дополнительным условием в промежуточной точке интервала .....	256
8.2.3. Задачи на собственные значения для ОДУ .....	259
8.3. Дифференциальные уравнения в частных производных .....	262
8.3.1. Встроенная функция <i>pdsolve</i> .....	263
8.3.2. Встроенная функция <i>numol</i> .....	266
8.3.3. Встроенные функции <i>relax</i> и <i>multigrid</i> .....	268
<b>Глава 9. Линейная алгебра .....</b>	<b>272</b>
9.1. Простейшие операции с матрицами .....	272
9.1.1. Транспонирование.....	273
9.1.2. Сложение.....	273
9.1.3. Умножение.....	274
9.1.4. Определитель квадратной матрицы .....	276
9.1.5. Модуль вектора .....	277
9.1.6. Скалярное произведение векторов .....	278
9.1.7. Векторное произведение .....	279
9.1.8. Сумма элементов вектора и след матрицы .....	279
9.1.9. Обратное обращение квадратной матрицы.....	280
9.1.10. Возведение матрицы в степень .....	280
9.1.11. Векторизация .....	281
9.1.12. Символьные преобразования .....	283
9.2. Матричные функции .....	284
9.2.1. Генераторы матриц .....	284
9.2.2. Слияние и разбиение матриц .....	291

9.2.3. Размер матрицы .....	293
9.2.4. Сортировка матриц .....	294
9.2.5. Норма квадратной матрицы .....	296
9.2.6. Число обусловленности квадратной матрицы.....	297
9.2.7. Ранг матрицы .....	298
9.3. Системы линейных алгебраических уравнений.....	298
9.4. Собственные векторы и собственные значения матриц .....	300
9.5. Матричные разложения .....	303
9.5.1. Разложение Холецкого .....	304
9.5.2. QR-разложение .....	304
9.5.3. LU-разложение .....	305
9.5.4. Сингулярное разложение.....	307
<b>Глава 10. Специальные функции .....</b>	<b>308</b>
10.1. Функции Бесселя .....	308
10.1.1. Обычные функции Бесселя .....	309
10.1.2. Модифицированные функции Бесселя .....	310
10.1.3. Функции Эйри .....	312
10.1.4. Функции Бесселя—Кельвина.....	312
10.1.5. Сферические функции Бесселя.....	313
10.1.6. Нормированные функции Бесселя.....	314
10.2. Функции работы с комплексными числами .....	316
10.3. Логарифмы и экспонента .....	317
10.4. Тригонометрические функции.....	318
10.5. Гиперболические функции .....	319
10.6. Другие спецфункции.....	320
10.7. Строковые функции.....	324
10.8. Функции сокращения и округления .....	326
10.9. Кусочно-непрерывные функции.....	327
10.10. Функция цикла .....	328
10.11. Функции преобразования координат .....	329
10.12. Sinc-функция.....	330
10.13. Функция текущего времени .....	331
10.14. Финансовые функции .....	331
<b>Глава 11. Математическая статистика .....</b>	<b>336</b>
11.1. Случайные величины.....	336
11.1.1. Нормальное (гауссово) распределение .....	336
11.1.2. Другие статистические распределения .....	341
11.2. Статистические характеристики.....	345
11.2.1. Построение гистограмм.....	345
11.2.2. Среднее значение и дисперсия.....	347

11.2.3. Корреляция и ковариация.....	348
11.2.4. Коэффициенты асимметрии и эксцесса.....	349
11.2.5. Другие статистические характеристики.....	350
11.2.6. Действие статистических функций на матрицы.....	351
11.3. Интерполяция и экстраполяция.....	352
11.3.1. Линейная интерполяция.....	352
11.3.2. Сплайн-интерполяция.....	353
11.3.3. Экстраполяция функцией предсказания.....	356
11.3.4. Многомерная интерполяция.....	357
11.4. Регрессия.....	360
11.4.1. Линейная регрессия.....	360
11.4.2. Полиномиальная регрессия.....	362
11.4.3. Регрессия специального вида.....	364
11.4.4. Сглаживание.....	366
11.5. Спектры.....	367
11.5.1. Преобразование Фурье.....	367
11.5.2. Вейвлетное преобразование.....	370

## **Часть IV. Оформление документов..... 373**

### **Глава 12. Ввод/вывод данных..... 375**

12.1. Числовой ввод/вывод.....	375
12.2. Создание графиков.....	376
12.3. Двумерные графики.....	379
12.3.1. XY-график двух векторов.....	379
12.3.2. XY-график вектора и ранжированной переменной.....	380
12.3.3. XY-график функции.....	381
12.3.4. Полярный график.....	382
12.3.5. Построение нескольких рядов данных.....	383
12.3.6. XY-график с двумя осями Y.....	385
12.3.7. Форматирование осей.....	386
12.3.8. Форматирование рядов данных.....	391
12.3.9. Сохранение заголовка графика.....	397
12.3.10. Изменение размера и положения графиков.....	398
12.3.11. Трассировка и увеличение графиков.....	398
12.4. Трехмерные графики.....	401
12.4.1. Создание трехмерных графиков.....	401
12.4.2. Форматирование трехмерных графиков.....	406
12.5. Создание анимации.....	416
12.6. Ввод/вывод во внешние файлы.....	418
12.6.1. Текстовые файлы.....	419
12.6.2. Графические файлы.....	421

12.6.3. Звуковые файлы.....	423
12.6.4. Мастер импорта данных и функция <i>READFILE</i> .....	423
12.6.5. Функция <i>READFILE</i> .....	426
<b>Глава 13. Оформление документов .....</b>	<b>427</b>
13.1. Элементы оформления документов .....	427
13.1.1. Элементы оформления.....	428
13.1.2. Размещение элементов оформления в документах.....	429
13.1.3. Выделение областей.....	432
13.1.4. Работа с зонами .....	435
13.2. Форматирование текста и формул.....	439
13.2.1. Форматирование текста .....	440
13.2.2. Стили текста и формул .....	443
13.3. Оформление страниц .....	447
13.3.1. Параметры страницы .....	447
13.3.2. Колонтитулы.....	449
13.3.3. Установки документа.....	451
13.4. Электронные книги.....	451
13.4.1. Просмотр электронных книг.....	452
13.4.2. Создание собственных электронных книг.....	455
13.4.3. Рисунки и гиперссылки .....	461
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>467</b>
<b>Приложение 1. Пользователям прошлых версий Mathcad .....</b>	<b>469</b>
Новые возможности Mathcad 13 .....	469
Новые возможности Mathcad 12.....	469
Новые возможности Mathcad 11 .....	470
<b>Приложение 2. Команды меню и панели инструментов.....</b>	<b>472</b>
<b>Приложение 3. Встроенные операторы и функции .....</b>	<b>485</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>504</b>
I. Книги и мультимедийные учебники автора .....	504
II. Литература по математике и методам вычислений.....	505
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>506</b>

# Введение

Эта книга — о самом популярном из компьютерных математических пакетов Mathcad 13 компании MathSoft. С его помощью можно решать разнообразнейшие математические задачи и оформлять результаты расчетов на высоком профессиональном уровне.

Что такое система Mathcad? Следует хорошо представлять себе, что в состав Mathcad 13 входят несколько интегрированных между собой компонентов:

- мощный текстовый редактор, позволяющий вводить, редактировать и форматировать как текст, так и математические выражения;
- вычислительный процессор, умеющий проводить расчеты по введенным формулам, используя встроенные численные методы;
- символьный процессор, являющийся, фактически, системой искусственного интеллекта;
- огромное хранилище справочной информации, как математической, так и инженерной, оформленной в виде библиотеки интерактивных электронных книг.

Обо всех перечисленных возможностях я попытался в доступной форме рассказать в этой книге. Последовательно рассказывая об основах расчетов, интерфейсе пользователя и переходя от простого к сложному, я старался дать читателю возможность самостоятельно освоить Mathcad. Книга может выступать как самоучитель, позволяющий "с нуля" освоить ключевые возможности этой вычислительной системы. Приступая к той или иной задаче, открывайте соответствующую главу книги и используйте ее как справочник. Причем я старался начинать рассказ с краткого определения математических понятий и терминов, конечно, предполагая, что читатель имеет базовые математические знания.

Создавая книгу, я думал не только о пользователях самой последней, 13-й версии, но также и о пользователях предыдущих версий. Зная по собственному опыту, что ученые зачастую не обновляют сразу версию Mathcad (тем более, что отличия между последними из них невелики), я постарался максимально облегчить восприятие материала пользователям Mathcad, начиная с версии 2001 и заканчивая версией 13. Для них в тексте расставлены специальные пиктограммы (11) и (12), говорящие о том, что те или иные возможно-

сти относятся к 11-й и 12-й версии. Большинство листингов работают корректно в Mathcad 2000, 2001 и 2001i.

Сама книга разбита на четыре части. В первой даны основные сведения о Mathcad и приемы работы с его математическим редактором (она будет особенно полезна начинающим пользователям), во второй и третьей частях рассматриваются способы решения математических задач, широко проиллюстрированные листингами. В четвертой части приводятся сведения, касающиеся профессионального оформления расчетов в Mathcad 13, и методы повышения эффективности работы для опытных пользователей.

Все листинги, приведенные в книге, автономны и работают вне каких-либо дополнительных модулей. В листингах умышленно, чтобы не загромождать их, нет никаких текстовых примечаний, — они содержат только расчеты по формулам. Все комментарии к ним находятся в тексте. Почти все графики вынесены в рисунки, причем, если они являются продолжением листингов, это помечено в подрисуночной подписи.

В заключение хочется обратиться к читателям моих других книг, связанных с Mathcad, и пользователям обучающего ПО, разработанного мною. Помимо данной книги, посвященной приемам работы с Mathcad, главным образом, его интерфейсу и технике расчетов, в издательстве "БХВ-Петербург" одновременно выходит вторая книга — "Mathcad в подлиннике", акцент в которой сделан на описание конкретных задач математики. В ней я ограничился минимальными сведениями об интерфейсе программы, сосредоточившись на решении типовых (зачастую, не самых простых) математических задач при помощи Mathcad, требующих иногда весьма сложных расчетов и неочевидных приемов программирования. Кроме того, книга "Mathcad в подлиннике" уделяет большое внимание численным алгоритмам, реализованным во встроенных функциях Mathcad.

Еще более детальную информацию о численных методах (в том числе с Mathcad-примерами и виртуальными видеолекциями) читатель может почерпнуть из обучающего мультимедийного CD "Д. В. Кирьянов: Вычислительная математика" (издательство "Новый Диск") и книги, также сопровождаемой мультимедийным CD-учебником "Computational science" (выходит в 2005 г. в издательстве "Полибук Мультимедиа").

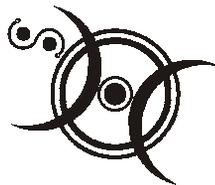
Дополнительную информацию читатель может получить в Интернете на сервере производителя Mathcad — <http://www.mathcad.com>, дистрибьютора Mathcad в России — <http://www.mathcad.ru>, на обучающем ресурсе автора на сервере ИПМ РАН им. М. В. Келдыша — <http://www.keldysh.ru/comma> и на личной странице автора — <http://www.kirianov.orc.ru>.



# **ЧАСТЬ I**

## **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

# Глава 1



## Начинаем работу

В данной главе рассмотрено назначение приложения Mathcad 13 в целях знакомства с его основными возможностями и приведены базовые приемы его использования (см. разд. 1.1—1.2). Если вы уже имели дело с прежними версиями, начиная с очень древней Mathcad 7, и у вас неплохие навыки работы с его редактором, то можете смело пропустить эту главу. В ней основное внимание уделено главным компонентам интерфейса Mathcad 13, который интуитивен и похож на другие программы Windows (см. разд. 1.3), а также эффективному использованию справочной системы и ресурсов Mathcad (см. разд. 1.4).

### 1.1. Назначение Mathcad

Mathcad является математическим редактором, позволяющим проводить разнообразные научные и инженерные расчеты, начиная от элементарной арифметики и заканчивая сложными реализациями численных методов. С точки зрения классификации программного обеспечения, пакет Mathcad — типичный представитель класса приложений, называемых PSE (*problem solution environment, программная среда для решения задач*). Пользователи Mathcad — это студенты, ученые, инженеры, разнообразные технические специалисты. Благодаря простоте применения, наглядности математических действий, обширной библиотеке встроенных функций и численных методов, возможности символьных вычислений, а также превосходному аппарату представления результатов (графики самых разных типов, мощных средств подготовки печатных документов и Web-страниц) Mathcad стал наиболее популярным математическим приложением.

Mathcad, в отличие от большинства других современных математических приложений, построен в соответствии с принципом WYSIWYG ("What You

See Is What You Get" — "что вы видите, то и получите"). Поэтому он очень прост в использовании, в частности, из-за отсутствия необходимости сначала писать программу, реализующую те или иные математические расчеты, а потом запускать ее на исполнение. Вместо этого достаточно просто вводить математические выражения с помощью встроенного редактора формул, причем в виде, максимально приближенном к общепринятому, и тут же получать результат. Кроме того, можно изготовить на принтере печатную копию документа или создать страницу в Интернете именно в том виде, который этот документ имеет на экране компьютера при работе с Mathcad, либо включить документ в структуру электронной книги Mathcad.

Создатели Mathcad сделали все возможное, чтобы пользователь, не обладающий специальными знаниями в программировании (а таких большинство среди ученых и инженеров), мог в полной мере приобщиться к достижениям современной вычислительной науки и компьютерных технологий. Для эффективной работы с редактором Mathcad достаточно базовых навыков пользователя. С другой стороны, профессиональные программисты (к которым относит себя и автор этих строк) могут извлечь из Mathcad намного больше, создавая различные программные решения, существенно расширяющие возможности, непосредственно заложенные в Mathcad.

В соответствии с проблемами реальной жизни, математикам приходится решать одну или несколько из следующих задач:

- ввод на компьютере разнообразных математических выражений (для дальнейших расчетов или создания документов, презентаций, Web-страниц или электронных книг);
- проведение математических расчетов;
- подготовка графиков с результатами расчетов;
- ввод исходных данных и вывод результатов в текстовые файлы или файлы с базами данных в других форматах;
- подготовка отчетов работы в виде печатных документов;
- подготовка Web-страниц и публикация результатов в Интернете;
- получение различной справочной информации из области математики.

Со всеми этими (а также некоторыми другими) задачами с успехом справляется Mathcad:

- математические выражения и текст вводятся с помощью формульного редактора Mathcad, который по возможностям и простоте использования не уступает, к примеру, редактору формул, встроенному в Microsoft Word;

- математические расчеты производятся немедленно, в соответствии с введенными формулами;
- графики различных типов (по выбору пользователя) с богатыми возможностями форматирования вставляются непосредственно в документы;
- возможен ввод и вывод данных в файлы различных форматов;
- документы могут быть распечатаны непосредственно в Mathcad в том виде, который пользователь видит на экране компьютера, или сохранены в формате RTF для последующего редактирования в более мощных текстовых редакторах (например, Microsoft Word);
- возможно полноценное сохранение документов Mathcad в формате RTF-документов, а также Web-страниц в форматах HTML и (начиная с 12-й версии) XML;

### 12 **Примечание**

Начиная с 12-й версии, файлы Mathcad имеют формат XMCD, являющийся разновидностью текстовой XML-разметки. Применение XML-стандарта оправдано, главным образом, тем, что формат файлов Mathcad становится общепотребительным для целого ряда приложений и данных самого различного типа. В частности, Mathcad-документы с XML-разметкой теперь можно также просматривать и редактировать "вручную", в любом текстовом редакторе.

- имеется опция объединения разрабатываемых пользователем документов в электронные книги, которые, с одной стороны, позволяют в удобном виде хранить математическую информацию, а с другой — являются полноценными Mathcad-программами, способными осуществлять расчеты;
- символьные вычисления позволяют осуществлять аналитические преобразования, а также мгновенно получать разнообразную справочную математическую информацию;
- справочная система и многочисленные дополнительные материалы, оформленные в виде электронных книг (ресурсы Mathcad), помогают быстро отыскать нужную математическую информацию или пример тех или иных расчетов.

Таким образом, следует хорошо представлять себе, что в состав Mathcad входят несколько интегрированных между собой компонентов: мощный текстовый редактор для ввода и редактирования как текста, так и формул, вычислительный процессор для проведения расчетов согласно введенным формулам и символьный процессор, являющийся, по сути, системой искусственного интеллекта. Сочетание этих компонентов создает удобную вычислительную среду для разнообразных математических расчетов и, одновременно, документирования результатов работы.

## 1.2. Знакомство с Mathcad

В данном разделе, несколько забежав вперед, покажем, как быстро начать работу с Mathcad, научиться вводить математические выражения и получать первые результаты расчетов. Сведения этого раздела будут затем освещены с большей подробностью, сейчас только продемонстрируем в качестве знакомства со средой Mathcad его некоторые возможности. Поэтому, встретившись с проблемами при выполнении на компьютере описываемых здесь действий, например, при вводе выражений или построении графиков, обратитесь к соответствующему материалу следующих разделов.

После того как Mathcad 13 установлен на компьютере и запущен на исполнение, появляется основное окно приложения, показанное на рис. 1.1. Оно имеет ту же структуру, что и большинство приложений Windows. Сверху вниз располагаются заголовок окна, строка меню, панели инструментов (стандартная и форматирования) и *рабочий лист*, или *рабочая область*, документа (worksheet). Новый документ создается автоматически при запуске Mathcad. В самой нижней части окна находится строка состояния. Не забывая о сходстве редактора Mathcad с обычными текстовыми редакторами, вы интуитивно поймете назначение большинства кнопок на панелях инструментов.

### Примечание

В версии Mathcad 13 разработчики предусмотрели специальную область окна Mathcad, называемую **Trace Window** (Окно трассировки, или Окно отладки), а также дополнительную панель инструментов **Debug** (Отладка). Окно отладки располагается под рабочей областью документа, примыкая сверху к строке состояния (рис. 1.1), и служит для облегчения процесса отладки Mathcad-программ. Чтобы закрыть его, достаточно нажать находящуюся в его правом верхнем углу кнопку закрытия окна.

Помимо элементов управления, характерных для типичного текстового редактора, Mathcad снабжен дополнительными средствами для ввода и редактирования математических символов, одним из которых является панель инструментов **Math** (Математика) (см. рис. 1.1). С помощью этой, а также ряда вспомогательных наборных панелей, удобно осуществлять ввод уравнений. Однако для начинающего пользователя Mathcad самым простым (но, возможно, не самым лучшим) будет способ ввода уравнений с клавиатуры.

Для того чтобы выполнить простые расчеты по формулам, сделайте следующее:

1. Определите место в документе, где должно появиться выражение, щелкнув мышью в соответствующей точке документа.

2. Введите левую часть выражения.
3. Введите знак равенства, нажав клавишу  $\langle = \rangle$ .

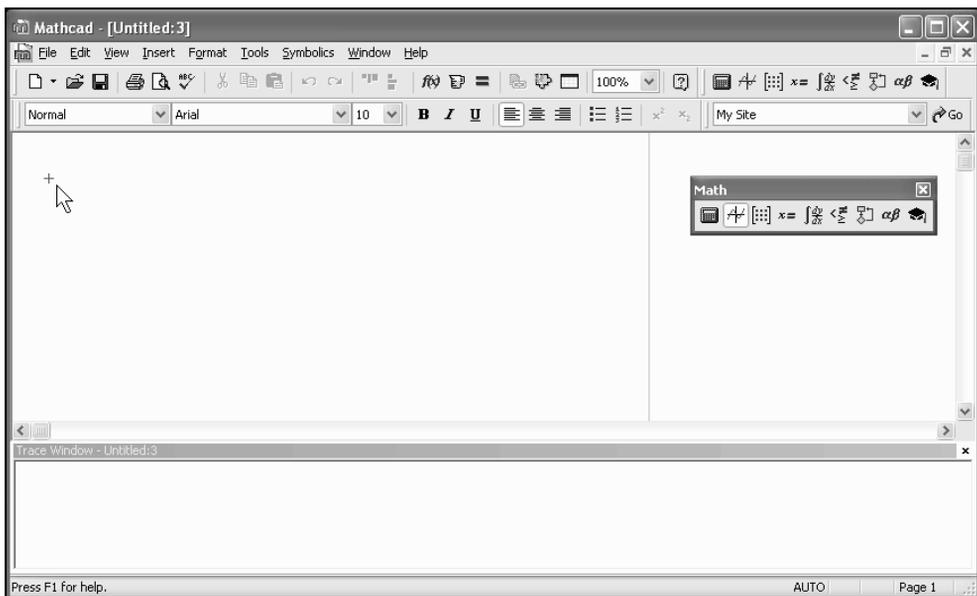


Рис. 1.1. Окно приложения Mathcad 13 с пустым документом

Оставим пока разговор о более надежных способах ввода математических символов и приведем пример простейших расчетов. Для вычисления синуса какого-нибудь числа достаточно ввести с клавиатуры выражение типа  $\sin(1/4) =$ . После того как будет нажата клавиша со знаком равенства, с правой стороны выражения, как по мановению волшебной палочки, появится результат (листинг 1.1).

#### Листинг 1.1. Расчет простого выражения

$$\sin\left(\frac{1}{4}\right) = 0.247$$

#### Примечание

Здесь и далее во всей книге в листинги вынесено содержание рабочей области документа Mathcad вместе с полученными результатами вычислений.

## 12) Примечание

Одним из основных достоинств новых версий Mathcad 12 и 13 является новое ядро программы, позволяющее осуществлять вычисления с большей скоростью. Наиболее заметно это проявляется при расчетах с матрицами и векторами больших размеров, а также вложенными массивами (тензорами). Для таких задач разработчики Mathcad анонсируют повышение скорости расчетов примерно в три раза по сравнению с предыдущими версиями. К тому же, некоторые преимущества в плане ускорения работы программы дает и архитектура Mathcad, построенная на платформе новой технологии .NET компании Microsoft.

Подобным образом можно проводить и более сложные и громоздкие вычисления, пользуясь при этом всем арсеналом специальных функций, которые встроены в Mathcad. Легче всего вводить их имена с клавиатуры, как в примере с вычислением синуса, но, чтобы избежать возможных ошибок в их написании, лучше выбрать другой путь. Чтобы ввести встроенную функцию в выражение:

1. Определите место в выражении, куда следует вставить функцию.
2. Нажмите кнопку с надписью  $f(x)$  на стандартной панели инструментов (на нее наведен указатель мыши на рис. 1.2).
3. В списке **Function Category** (Категория функции) появившегося диалогового окна **Insert Function** (Вставить функцию) выберите категорию, к которой принадлежит функция, — в нашем случае это категория **Trigonometric** (Тригонометрические).
4. В списке **Function Name** (Имя функции) выберите имя встроенной функции, под которым она фигурирует в Mathcad (**sin**). В случае затруднения с выбором ориентируйтесь на подсказку, появляющуюся при выборе функции в нижнем текстовом поле диалогового окна **Insert Function** (Вставить функцию).
5. Нажмите кнопку **OK** — функция появится в документе.
6. Заполните недостающие аргументы введенной функции (в нашем случае это 1/4).

Результатом будет введение выражения из листинга 1.1, для получения значения которого осталось лишь ввести знак равенства.

## Примечание

Большинство численных методов, запрограммированных в Mathcad, реализовано в виде встроенных функций. Пропустите на досуге списки в диалоговом окне **Insert Function** (Вставить функцию), чтобы представлять себе, какие специальные функции и численные методы можно использовать в расчетах (им полностью посвящена *часть III*, а подробный перечень встроенных функций приведен в *приложении 3*).

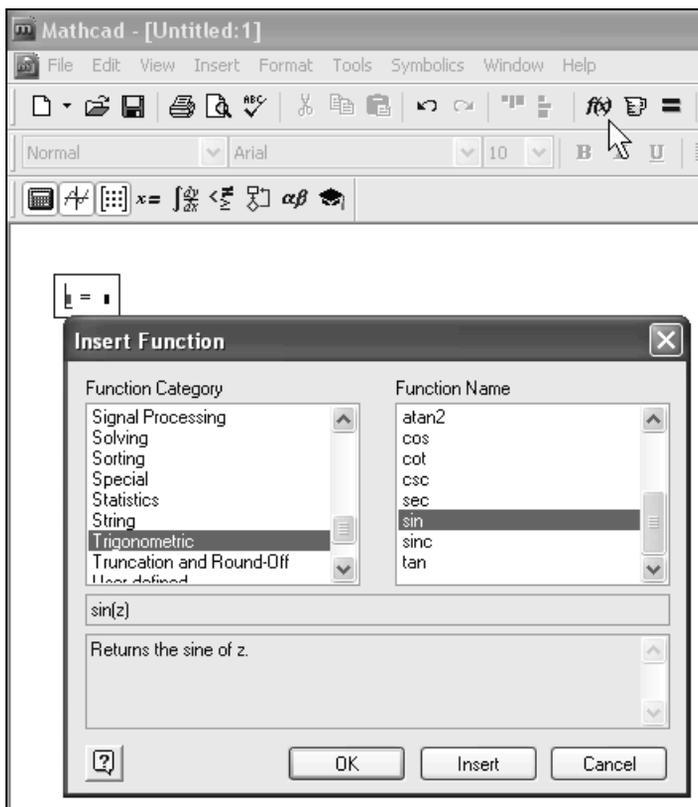


Рис. 1.2. Вставка встроенной функции

Конечно, не всякий символ можно ввести с клавиатуры. Например, неочевидно, как вставить в документ знак интеграла или дифференцирования. Для этого в Mathcad имеются специальные панели инструментов, очень похожие на средства формульного редактора Microsoft Word. Как было сказано ранее, одна из них — панель инструментов **Math** (Математика) — показана на рис. 1.1. Она содержит инструменты для вставки в документы типично математических объектов (операторов, графиков, элементов программ и т. п.). Эта панель показана более крупным планом на рис. 1.3 уже на фоне редактируемого документа.

Панель содержит девять кнопок, нажатие каждой из которых приводит, в свою очередь, к появлению на экране еще одной панели инструментов. С помощью этих девяти дополнительных панелей можно вставлять в документы Mathcad разнообразные объекты. На рис. 1.3, как легко увидеть, на панели

**Math** (Математика) в нажатом состоянии находится первая в верхнем левом углу кнопка (под ней размещается указатель мыши). Поэтому на экране присутствует еще одна панель — **Calculator** (Калькулятор). Легко догадаться, какие объекты вставляются при нажатии кнопок этой панели.

### Примечание

Подробнее о назначении этой и других наборных панелей инструментов рассказано ниже (см. разд. 1.3.2).

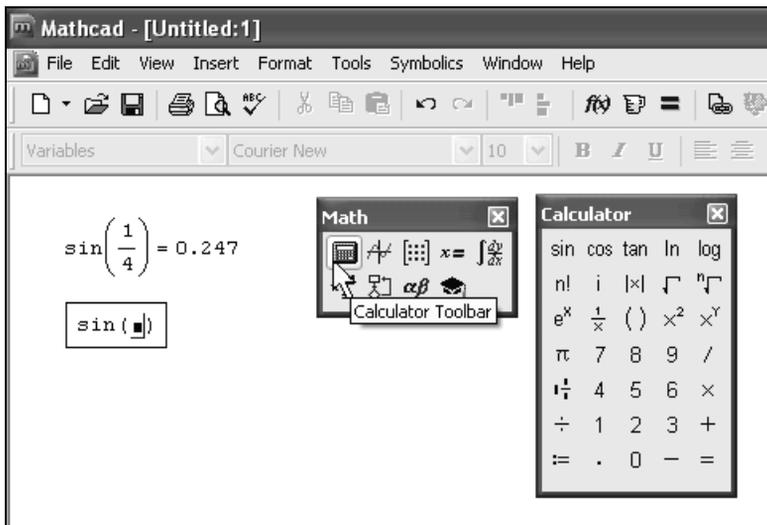


Рис. 1.3. Использование панелей инструментов **Math** и **Calculator**

К примеру, можно ввести выражение из листинга 1.1 исключительно с помощью панели **Calculator** (Калькулятор). Для этого нужно сначала нажать кнопку **sin** (самую первую сверху). Результат данного действия показан на рис. 1.3 (выражение в рамке). Теперь остается лишь набрать выражение  $1/4$  внутри скобок (в *местозаполнителе*, обозначаемом черным прямоугольником). Для этого нажмите последовательно кнопки **1**, **/**, **4** на панели **Calculator** (Калькулятор) и затем, на ней же, кнопку **=**, чтобы получить ответ (разумеется, тот же самый, что и в предыдущей строке документа).

Как видите, вставлять в документы математические символы можно по-разному, как и во многих других приложениях Windows. В зависимости от опыта работы с Mathcad и привычек работы на компьютере пользователь может выбрать любой из них.

### Совет

Если вы только начинаете осваивать редактор Mathcad, настоятельно рекомендуем, где это только возможно, вводить формулы, пользуясь наборными панелями инструментов и описанной процедурой вставки функций с помощью диалога **Insert Function** (Вставить функцию). Это позволит избежать многих возможных ошибок.

Описанные действия демонстрируют использование Mathcad в качестве обычного калькулятора с расширенным набором функций. Для математика же интерес представляет, как минимум, возможность задания переменных и операций с функциями пользователя. Нет ничего проще — в Mathcad эти действия, как и большинство других, реализованы по принципу "как принято в математике, так и вводится". Поэтому приведем соответствующие примеры (листинги 1.2 и 1.3), не теряя времени на комментарии (*если у вас возникнут проблемы с пониманием листингов, обратитесь за разъяснением к соответствующим разделам этой главы*). Обратите внимание только на оператор присваивания, который применяется для задания значений переменным в первой строке листинга 1.2. Его, как и все остальные символы, можно ввести с помощью панели **Calculator** (Калькулятор). Присваивание обозначается не знаком равенства, чтобы подчеркнуть его отличие от операции вычисления. Символ равенства говорит о вычислении значения слева направо, а символ " := " — о присваивании значения справа налево.

#### Листинг 1.2. Использование переменных в расчетах

$x := 1.2$              $y := 55$              $z := 4$

$$\frac{(x^2 \cdot 250)}{\sqrt[5]{y}} \cdot \ln(z \cdot \pi) = 408.814$$

#### Листинг 1.3. Определение функции пользователя и расчет ее значения в точке $x = 1$

$a := 2$

$$f(x) := x^a - \frac{2}{|x - 5|}$$

$f(1) = 0.5$

В последнем листинге определяется функция  $f(x)$ . Ее график показан на рис. 1.4. Чтобы построить его, следует нажать на панели **Graph** (График)

кнопку с нужным типом графика (на нее на рисунке наведен указатель мыши) и в появившейся заготовке графика определить значения, которые будут отложены по осям. В нашем случае потребовалось ввести  $x$  в местозаполнитель возле оси  $X$  и  $f(x)$  — возле оси  $Y$ .

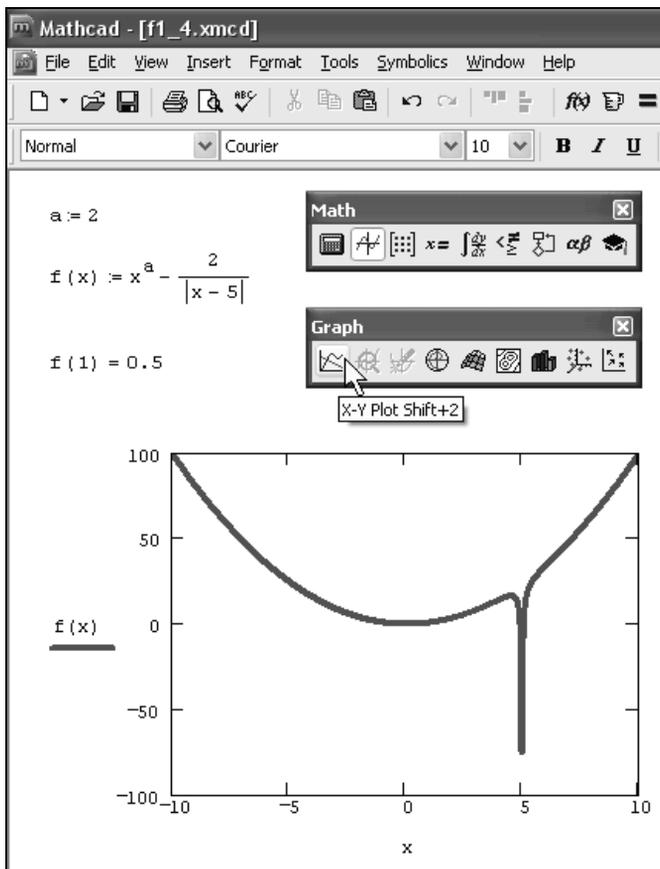


Рис. 1.4. Построение графика функции (листинг 1.3)

### Примечание

Сравните содержание листинга 1.3 и рис. 1.4. Такой стиль подачи материала будет сохранен во всей книге. Листинги представляют собой фрагменты рабочих областей документа, которые работают без какого-либо дополнительного кода (если это не оговорено особо). Можно ввести содержание любого листинга в новый (пустой) документ, и он будет работать точно так же, как в книге. Чтобы не загромождать листинги, графики выведены в отдельные рисунки. В отличие

от рис. 1.4, в следующих рисунках код листингов не дублируется, а если имеется ссылка на листинг в подрисуночной надписи, то это подразумевает, что данный график может быть вставлен в документ после упомянутого листинга.

Одной из самых впечатляющих возможностей Mathcad являются символьные вычисления, позволяющие решить многие задачи аналитически. Фактически, по мнению автора, Mathcad "знает" математику, по крайней мере, на уровне неплохого ученого. Умелое использование интеллекта символьного процессора Mathcad избавит вас от огромного количества рутинных вычислений, к примеру, интегралов и производных (листинг 1.4). Обратите внимание на традиционную форму написания выражений, единственная особенность заключается в необходимости применения знака символьных вычислений " $\rightarrow$ " вместо знака равенства. Его, кстати, можно ввести в редакторе Mathcad с любой из панелей **Evaluation** (Выражения) или **Symbolic** (Символика), а символы интегрирования и дифференцирования — с панели **Calculus** (Вычисления).

#### Листинг 1.4. Символьные вычисления

$$\int \frac{\ln(a \cdot x)}{x^b} dx \rightarrow \left[ \frac{-(b \cdot \ln(a) - \ln(a) + 1)}{(-2 \cdot b + b^2 + 1)} \cdot x - \frac{1}{(b-1)} \cdot x \cdot \ln(x) \right] \cdot x^{-b}$$

$$\frac{d}{dx} \frac{(x^2 \cdot 250)}{\sqrt[5]{y}} \cdot \ln(z \cdot \pi) \rightarrow 500 \cdot \frac{x}{y^5} \cdot \ln(z \cdot \pi)$$

В этом разделе была рассмотрена лишь небольшая часть вычислительных возможностей системы Mathcad. Тем не менее, несколько приведенных здесь примеров дают неплохое представление о ее назначении. Вероятно даже, что, преждевременно рассказав о простоте, с которой можно проводить математические расчеты, автор потерял некоторую часть самых нетерпеливых читателей, которые уже перешли к решению своих задач. Им я хочу посоветовать воспользоваться в качестве справочника *частями II и III* книги, а для наилучшего оформления результатов — *частью IV*. Ниже, в этой и последующих главах данной части, основы Mathcad освещены более подробно.

#### Совет

В справочную систему Mathcad встроен целый ряд электронных учебников, в том числе довольно неплохой учебник для начинающих (на английском языке). Чтобы вызвать его на экран, выберите в меню **Help** (Справка) пункт **Tutorials**

(Учебники). В открывшемся окне с перечнем доступных учебников щелкните на ссылке **Getting Started Primers** (Учебник для начинающих). Просмотр материала учебника обеспечивается панелью навигации и системой гиперссылок, как в обычном браузере.

## 1.3. Интерфейс пользователя

В Mathcad интерфейс пользователя интуитивен и сходен с другими приложениями Windows. Его составные части:

- верхнее меню, или строка меню (menu bar);
- панели инструментов (toolbars) **Standard** (Стандартная), **Formatting** (Форматирование), **Resources** (Ресурсы) и **Controls** (Элементы управления);
- панель инструментов **Math** (Математика) и доступные через нее дополнительные математические панели инструментов;
- вспомогательное окно **Trace Window** (Окно отладки);
- рабочая область (worksheet);
- строка состояния (status line, или status bar);
- всплывающие, или контекстные, меню (pop-up menus, или context menus);
- диалоговые окна, или диалоги (Dialogs);
- окна ресурсов Mathcad (Mathcad Resources) со встроенными примерами и дополнительной информацией.

### *Примечание*

Окно **Trace Window** (Окно отладки) появилось в версии 13.

Большинство команд можно выполнить как с помощью меню (верхнего или контекстного), так и панелей инструментов или клавиатуры.

### 1.3.1. Меню

Строка меню располагается в самой верхней части окна Mathcad. Она содержит девять заголовков, щелчок мышью на каждом из которых приводит к появлению соответствующего меню с перечнем команд:

- **File** (Файл) — команды, связанные с созданием, открытием, сохранением, пересылкой по электронной почте и распечаткой на принтере файлов с документами;

- **Edit** (Правка) — команды, относящиеся к правке текста (копирование, вставка, удаление фрагментов и т. п.);
- **View** (Вид) — команды, управляющие внешним видом документа в окне редактора Mathcad, а также команды, создающие файлы анимации;
- **Insert** (Вставка) — команды вставки различных объектов в документы;
- **Format** (Формат) — команды форматирования текста, формул и графиков;
- **Tools** (Сервис) — команды управления вычислительным процессом и дополнительными возможностями;
- **Symbolics** (Символика) — команды символьных вычислений;
- **Window** (Окно) — команды управления расположением окон с различными документами на экране;
- **Help** (Справка) — команды вызова контекстно-зависимой справочной информации, сведений о версии программы, а также доступа к ресурсам и электронным книгам.

### **Примечание**

Состав всех меню, снабженный описанием действий каждого пункта, вы можете отыскать в *приложении 3*.

Чтобы выбрать нужную команду, щелкните мышью на содержащем ее меню и повторно на соответствующем элементе меню. Некоторые команды находятся не в самих меню, а в подменю, как это показано на рис. 1.5. Чтобы выполнить такую команду, например, команду вызова на экран панели инструментов **Symbolic** (Символика), наведите указатель мыши на пункт **Toolbars** (Панели инструментов) выпадающего меню **View** (Вид) и выберите в появившемся подменю пункт **Symbolic** (Символика).

### **Примечание**

Далее в книге, говоря о совершении того или иного действия с помощью меню, последовательность выбора пунктов меню будем приводить сокращенно, разделяя их вертикальными чертами. Например, рассмотренная команда обозначается как **View | Toolbars | Symbolic**.

Обратите внимание, что пункты меню, которые содержат подменю, снабжены стрелками (как пункт **Toolbars** (Панели инструментов) на рис. 1.5). Кроме того, некоторые пункты меню имеют (или не имеют) флажки проверки, указывающие на включение (или выключение) соответствующей опции в текущий момент. Так, на рис. 1.5 флажки проверки выставлены в пунктах **Status Bar** (Строка состояния) и имен пяти панелей инструментов, что говорит о наличии в данный момент на экране строки состояния и этих пяти панелей.

Флажки же в пунктах **Ruler** (Линейка), **Regions** (Регионы) и имен почти всех математических панелей инструментов отсутствуют, т. е. в данный момент эти опции выключены.

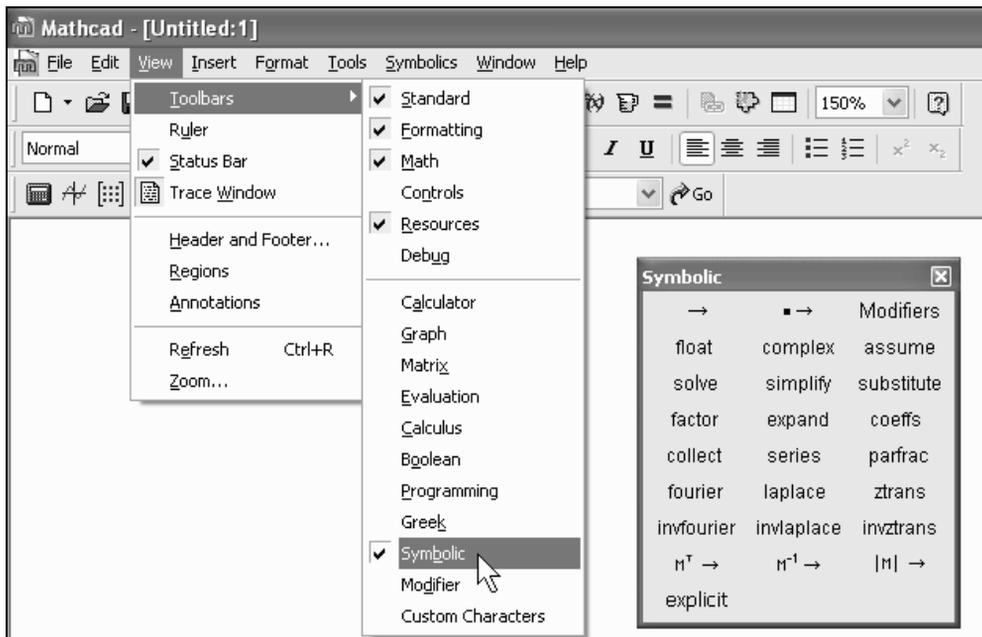


Рис. 1.5. Работа с меню

Назначение пунктов меню, на которые наведен указатель мыши, появляется в виде подсказки слева в строке состояния (в нижней части окна Mathcad). На рис. 1.5 указатель наведен на пункт **Symbolic** (Символика), поэтому соответствующая подсказка будет гласить "Show or hide the symbolic keyword toolbar" (Показать или скрыть панель символики).

Помимо верхнего меню, схожие функции выполняют всплывающие меню (рис. 1.6). Они появляются, как и в большинстве других приложений Windows, при нажатии в каком-либо месте документа правой кнопки мыши. При этом состав данных меню зависит от места их вызова, поэтому их еще называют *контекстными*. Mathcad сам "догадывается", в зависимости от контекста, какие операции могут потребоваться в текущий момент, и помещает в меню соответствующие команды. Поэтому использовать контекстное меню зачастую проще, чем верхнее, т. к. не надо вспоминать, где конкретно в верхнем меню находится нужный пункт. Как и верхнее меню, контекстное

также может иметь подменю (на рис. 1.6 показан участок документа с примером изменения отображения знака умножения в формуле; примечательно, что эту операцию в Mathcad можно осуществить только при помощи контекстного меню).

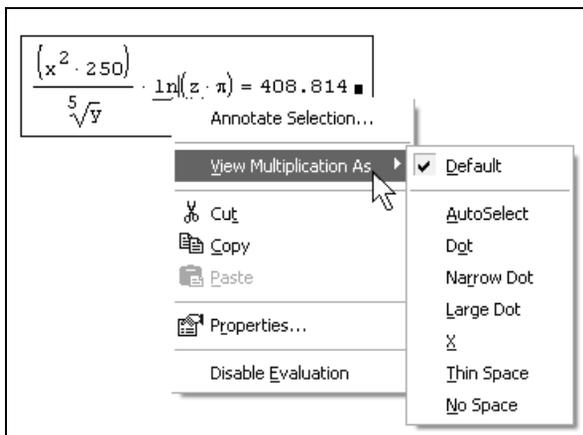


Рис. 1.6. Контекстное меню

### 1.3.2. Панели инструментов

Панели инструментов служат для быстрого (в один щелчок мыши) выполнения наиболее часто применяемых команд. Все действия, которые можно выполнить с помощью панелей инструментов, доступны и через верхнее меню. На рис. 1.7 изображено окно Mathcad с пятью основными панелями инструментов, расположенными непосредственно под строкой меню. Кнопки в панелях сгруппированы по сходному действию команд:

- **Standard** (Стандартная) — служит для выполнения большинства операций, таких как действия с файлами, редакторская правка, вставка объектов и доступ к справочным системам;
- **Formatting** (Форматирование) — для форматирования (изменения типа и размера шрифта, выравнивания и т. п.) текста и формул;
- **Math** (Математика) — для вставки математических символов и операторов в документы;
- **Resources** (Ресурсы) — для вызова ресурсов Mathcad (примеров, учебников и т. п.);

- **Controls** (Элементы управления) — для вставки в документы стандартных элементов управления интерфейса пользователя (флажков проверки, полей ввода и т. п.);
- **Debug** (Отладка) — для управления отладкой Mathcad-программ.

### Примечание

Панель инструментов **Debug** (Отладка) появилась в версии Mathcad 13.

Группы кнопок на панелях инструментов разграничены по смыслу вертикальными линиями — *разделителями*. При наведении указателя мыши на любую из кнопок рядом с кнопкой появляется *всплывающая подсказка* — короткий текст, поясняющий назначение кнопки (см. рис. 1.3 и 1.4). Наряду со всплывающей подсказкой, более развернутое объяснение готовящейся операции можно отыскать в строке состояния.

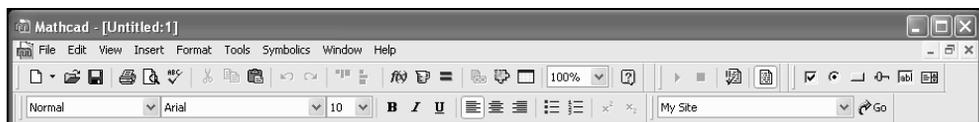


Рис. 1.7. Основные панели инструментов

Панель **Math** (Математика) предназначена для вызова на экран еще девяти панелей (рис. 1.8), с помощью которых, собственно, и происходит вставка математических операций в документы. В прежних версиях Mathcad эти математические панели инструментов назывались *палитрами* (palettes) или *наборными панелями*. Чтобы показать какую-либо из них, нужно нажать соответствующую кнопку на панели **Math** (см. рис. 1.3).

Перечислим назначение математических панелей:

- **Calculator** (Калькулятор) — служит для вставки основных математических операций, получила свое название из-за схожести набора кнопок с кнопками типичного калькулятора (рис. 1.8, б);
- **Graph** (График) — для вставки графиков (рис. 1.8, в);
- **Matrix** (Матрица) — для вставки матриц и матричных операторов (рис. 1.8, г);
- **Evaluation** (Выражения) — для вставки операторов управления вычислениями (рис. 1.8, д);
- **Calculus** (Вычисления) — для вставки операторов интегрирования, дифференцирования, суммирования (рис. 1.8, е);