

Дмитрий Кирьянов



Mathcad 13

- Аналитические преобразования и численные методы
- Дифференцирование и интегрирование
- Вычислительная линейная алгебра
- Нелинейные уравнения и оптимизация
- Статистика, обработка данных, спектральный анализ
- Дифференциальные уравнения

**Наиболее
полное
руководство**



В ПОДЛИННИКЕ [®]

Дмитрий Кирьянов

Mathcad 13

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2006

УДК 681.3.06
ББК 32.973.26-018.2
К43

Кириянов Д. В.

К43 Mathcad 13. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 608 с.: ил.

ISBN 5-94157-850-4

Книга посвящена методике решения задач высшей математики при помощи компьютерной программы Mathcad. Приводятся примеры расчета типовых задач линейной алгебры, математического анализа, теории дифференциальных уравнений, статистики и обработки данных. Объясняется работа численных алгоритмов, заложенных во встроены функции и операторах системы Mathcad. Предлагаются неочевидные приемы решения актуальных задач современной вычислительной науки. Описывается интерфейс Mathcad и его основные составные части, предоставляется необходимая справочная информация. Рассматриваются все новые возможности и отличительные черты Mathcad версии 13. Прилагаемый компакт-диск содержит листинги примеров в формате электронной книги Mathcad, а также учебник по вычислительной математике (его полную HTML-версию и демо-версию мультимедийного обучающего курса).

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>Наталья 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 27.01.06.

Формат 70×100^{1/16}. Печать офсетная. Усл. печ. л. 49,02.

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

ISBN 5-94157-850-4

© Кириянов Д. В., 2006
© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2006

Оглавление

Введение.....	1
Часть I. Основные математические операции	5
Глава 1. Основные сведения о Mathcad	7
1.1. Знакомство с Mathcad	7
1.1.1. Назначение Mathcad	7
1.1.2. Интерфейс пользователя	10
1.1.3. Панели инструментов	12
1.1.4. Справочная информация	15
1.2. Основы вычислений в Mathcad	17
1.2.1. Операторы численного и символьного вывода	18
1.2.2. Математические выражения и встроенные функции	19
1.2.3. Переменные и оператор присваивания	22
1.2.4. Функции пользователя.....	24
1.2.5. Типы чисел.....	27
1.2.6. Ранжированные переменные и матрицы	32
1.2.7. Размерные переменные.....	34
1.3. Ввод и редактирование формул.....	37
1.3.1. Элементы интерфейса редактора формул.....	37
1.3.2. Ввод формул	38
1.3.3. Перемещение линий ввода внутри формул	39
1.3.4. Изменение формул	41
1.3.5. Программирование.....	44
1.4. Графики.....	49
1.4.1. Типы графиков	49
1.4.2. Создание графика.....	49
1.4.3. X-Y график двух векторов.....	50
1.4.4. X-Y график функции.....	52
1.4.5. Построение нескольких рядов данных.....	53
1.4.6. Форматирование графиков.....	54
1.4.7. Трехмерные графики	63
1.5. Отладка и комментирование программ	67
1.5.1. Сообщения об ошибках	67
1.5.2. Отладка программ.....	68

1.5.3. Обработка ошибок в программных модулях	72
1.5.4. Текст и комментарии	73
1.6. Управление файлами документов	75
1.6.1. Создание нового документа	75
1.6.2. Открытие существующего документа	77
1.6.3. Сохранение документа	77
1.6.4. Расчеты в документах	80
Глава 2. Алгебраические вычисления.....	84
2.1. Операторы.....	84
2.1.1. Арифметические операторы.....	85
2.1.2. Вычислительные операторы	86
2.1.3. Логические операторы	86
2.1.4. Матричные операторы	88
2.1.5. Операторы выражения	89
2.2. Функции	90
2.2.1. Элементарные функции	90
2.2.2. Вспомогательные функции	93
2.2.3. Функция вывода текущего времени	95
2.2.4. Спецфункции	96
2.3. Алгебраические преобразования	97
2.3.1. О способах символьных вычислений	97
2.3.2. Разложение выражений	99
2.3.3. Упрощение выражений	103
2.3.4. Разложение на множители	104
2.3.5. Приведение подобных слагаемых	105
2.3.6. Вычисление коэффициентов полинома	107
2.3.7. Разложение на простые дроби	109
2.3.8. Вычисление рядов и произведений	110
2.3.9. Подстановка переменной	111
2.3.10. Получение численного значения выражения	112
2.3.12. Явные вычисления	114
2.3.13. Вычисление предела	114
2.3.14. О специфике аналитических вычислений.....	115
Глава 3. Дифференцирование	117
3.1. Аналитическое дифференцирование.....	117
3.1.1. Аналитическое дифференцирование функции.....	117
3.1.2. Вычисление производной функции в точке	119

3.1.3. Определение функций пользователя через оператор дифференцирования.....	120
3.1.4. Дифференцирование при помощи меню	121
3.2. Численное дифференцирование	122
3.2.1. Дифференцирование в точке	122
3.2.2. Об алгоритме дифференцирования	123
3.3. Производные высших порядков	126
3.4. Частные производные	129
3.4.1. Частные производные	129
3.4.2. Примеры: градиент, дивергенция и ротор	132
3.4.3. Пример: якобиан.....	137
3.5. Разложение функции в ряд Тейлора.....	138
3.5.1. Разложение в ряд при помощи меню	139
3.5.2. Оператор разложения в ряд	140

Глава 4. Интегрирование

4.1. Определенный интеграл	142
4.1.1. Оператор интегрирования	142
4.1.2. О выборе алгоритма численного интегрирования	145
4.1.3. О традиционных алгоритмах интегрирования	147
4.1.4. Алгоритм Ромберга.....	150
4.2. Неопределенный интеграл	151
4.2.1. Символьное интегрирование.....	151
4.2.2. Интегрирование при помощи меню	153
4.3. Интегралы специального вида	153
4.3.1. Интегралы с бесконечными пределами	153
4.3.2. Расходящиеся интегралы.....	153
4.3.3. Интеграл с переменным пределом	154
4.3.4. Кратные интегралы	155
4.3.5. Пример: длина дуги кривой	156
4.4. Интеграл Фурье	157
4.4.1. Об интегральных преобразованиях функций	158
4.4.2. Аналитическое преобразование Фурье	158
4.4.3. Дискретное преобразование Фурье	160
4.4.4. Преобразование Фурье комплексных данных.....	162
4.4.5. Двумерное преобразование Фурье	163
4.5. Другие интегральные преобразования.....	165
4.5.1. Преобразование Лапласа	165
4.5.2. Z-преобразование	166
4.5.3. Вейвлет-преобразование.....	167

Часть II. Алгебраические уравнения	173
Глава 5. Нелинейные алгебраические уравнения	175
5.1. Аналитическое решение уравнений.....	176
5.1.1. Вычислительный блок <i>Given / Find</i>	176
5.1.2. Одно уравнение.....	177
5.1.3. Системы уравнений.....	181
5.1.4. Решение уравнений при помощи меню.....	182
5.2. Численное решение уравнений.....	183
5.2.1. Системы уравнений: функция <i>Find</i>	184
5.2.2. Уравнение с одним неизвестным: функция <i>root</i>	189
5.2.3. Корни полинома: функция <i>polyroots</i>	192
5.2.4. Локализация корней.....	194
5.3. О численных методах.....	195
5.3.1. Метод секущих: функция <i>root</i>	196
5.3.2. Градиентные методы: функция <i>Find</i>	197
5.3.3. Метод продолжения по параметру.....	202
Глава 6. Оптимизация	207
6.1. Поиск экстремума функции.....	208
6.1.1. Локальный экстремум.....	209
6.1.2. Условный экстремум.....	211
6.1.3. Экстремум функции нескольких переменных.....	213
6.1.4. Пример: линейное программирование.....	214
6.1.5. Аналитическое решение задач на экстремум.....	217
6.2. Приближенное решение алгебраических уравнений.....	219
6.3. Пример: некорректные задачи.....	223
Глава 7. Линейная алгебра	230
7.1. Простейшие матричные операции.....	230
7.1.1. Транспонирование.....	230
7.1.2. Сложение и вычитание.....	232
7.1.3. Умножение.....	233
7.2. Векторная алгебра.....	235
7.2.1. Модуль вектора.....	235
7.2.2. Скалярное произведение.....	236
7.2.3. Векторное произведение.....	237
7.2.4. Векторизация массива.....	237
7.3. Вычисление определителей и обращение квадратных матриц.....	239
7.3.1. Определитель квадратной матрицы.....	239
7.3.2. Ранг матрицы.....	240

7.3.3. Обращение квадратной матрицы.....	240
7.3.4. Возведение квадратной матрицы в степень.....	241
7.3.5. Матричные нормы.....	242
7.3.6. Число обусловленности квадратной матрицы.....	243
7.4. Вспомогательные матричные функции	244
7.4.1. Автоматическая генерация матриц.....	244
7.4.2. Разбиение и слияние матриц.....	248
7.4.3. Сортировка элементов матриц.....	251
7.4.4. Вывод размера матрицы	253
Глава 8. Системы линейных уравнений	255
8.1. Хорошо обусловленные системы с квадратной матрицей.....	256
8.1.1. Вычислительный блок <i>Given / Find</i>	256
8.1.2. Функция <i>lsolve</i>	258
8.2. Произвольные системы линейных уравнений	260
8.2.1. Переопределенные системы.....	260
8.2.2. Недоопределенные системы	267
8.2.3. Вырожденные и плохо обусловленные системы	272
8.3. Матричные разложения	281
8.3.1. СЛАУ с треугольной матрицей.....	281
8.3.2. Разложение Холецкого	283
8.3.3. <i>LU</i> -разложение	284
8.3.4. <i>QR</i> -разложение	286
8.3.5. SVD-(сингулярное) разложение.....	290
8.4. Собственные векторы и собственные значения матриц	292
Часть III. Дифференциальные уравнения	295
Глава 9. Обыкновенные дифференциальные уравнения:	
динамические системы	297
9.1. О постановке задач	297
9.1.1. Задачи Коши для ОДУ	298
9.1.2. Фазовый портрет динамической системы	301
9.2. Дифференциальное уравнение N -го порядка	304
9.3. Система N дифференциальных уравнений	307
9.3.1. Встроенные функции для решения систем ОДУ	307
9.3.2. Решение одного уравнения ($N=1$).....	310
9.3.3. Решение систем ОДУ в одной заданной точке	311
9.3.4. О численных методах	314
9.4. Жесткие системы ОДУ	320
9.4.1. Что такое жесткие ОДУ?	320
9.4.2. Функции для решения жестких ОДУ	322

9.4.3. Пример: химическая кинетика	324
9.5. Примеры: классические динамические системы	329
9.5.1. Модели динамики биологических популяций	329
9.5.2. Автоколебания.....	332
9.5.3. Странный аттрактор.....	334
9.5.4. Брюсселятор.....	336
Глава 10. Обыкновенные дифференциальные уравнения:	
краевые задачи.....	340
10.1. О постановке задач	340
10.2. Решение краевых задач средствами Mathcad	342
10.2.1. Алгоритм стрельбы	342
10.2.2. Двухточечные краевые задачи	344
10.2.3. Краевые задачи с условием во внутренней точке	348
10.3. Задачи на собственные значения для ОДУ.....	351
10.4. Разностные схемы для ОДУ.....	354
10.4.1. О разностном методе	354
10.4.2. Жесткие краевые задачи.....	357
10.5. Нелинейные краевые задачи	360
10.5.1. О постановке задачи	360
10.5.2. Метод стрельбы.....	361
10.5.3. Разностные схемы	363
Глава 11. Дифференциальные уравнения в частных производных.....	368
11.1. О постановке задач	369
11.1.1. Классификация уравнений в частных производных.....	369
11.1.2. Пример: уравнение диффузии тепла	370
11.2. Разностные схемы	375
11.2.1. Явная схема Эйлера	376
11.2.2. Неявная схема Эйлера.....	384
11.2.3. О возможности решения многомерных уравнений	388
11.3. Встроенные функции для решения уравнений в частных производных	390
11.3.1. Параболические и гиперболические уравнения.....	391
11.3.2. Эллиптические уравнения	398
Часть IV. ОБРАБОТКА ДАННЫХ.....	407
Глава 12. Статистика	409
12.1. Статистические распределения	409
12.1.1. Статистические функции.....	410
12.1.2. Пример: нормальное (Гауссово) распределение	413

12.2. Выборочные статистические характеристики.....	418
12.2.1. Гистограммы.....	418
12.2.2. Среднее и дисперсия.....	421
12.2.3. Примеры: Выборочная оценка дисперсии и среднего нормальной случайной величины.....	424
12.2.4. Корреляция.....	427
12.2.5. Новые функции корреляционного анализа сигналов.....	428
12.2.6. Коэффициенты асимметрии и эксцесса.....	428
12.2.7. Статистические функции матричного аргумента.....	429
12.3. Методы Монте-Карло.....	431
12.3.1. Генерация псевдослучайных чисел.....	431
12.3.2. Генерация коррелированных выборок.....	434
12.3.3. Моделирование случайного процесса.....	435
12.3.4. Пример: огибающая и фаза нормального случайного процесса....	438
Глава 13. Интерполяция и регрессия.....	441
13.1. Интерполяция.....	442
13.1.1. Линейная интерполяция.....	442
13.1.2. Кубическая сплайн-интерполяция.....	445
13.1.3. Полиномиальная сплайн-интерполяция.....	448
13.1.4. Сплайн-экстраполяция.....	449
13.1.5. Экстраполяция функцией предсказания.....	451
13.1.6. Многомерная интерполяция.....	453
13.2. Регрессия.....	455
13.2.1. Линейная регрессия.....	456
13.2.2. Полиномиальная регрессия.....	459
13.2.3. Другие типы регрессии.....	464
13.2.4. Регрессия общего вида.....	465
13.3. Ввод/вывод данных.....	468
13.3.1. Ввод/вывод в текстовые файлы.....	468
13.3.2. Ввод/вывод в файлы других типов.....	470
13.3.3. Мастер импорта данных и функция <i>READFILE</i>	475
Глава 14. Спектральный анализ.....	480
14.1. Фурье-спектр.....	481
14.1.1. Фурье-спектр действительных данных.....	481
14.1.2. Обратное преобразование Фурье.....	484
14.1.3. Преобразование Фурье комплексных данных.....	486
14.1.4. Пример: артефакты дискретного Фурье-преобразования.....	488
14.1.5. Пример: спектр модели сигнал/шум.....	492
14.1.6. Двумерный спектр Фурье.....	496

14.2. Вейвлет-спектры	497
14.2.1. Встроенная функция вейвлет-преобразования.....	498
14.2.2. Программирование вейвлет-преобразований.....	500
14.3. Сглаживание и фильтрация.....	501
14.3.1. Встроенные функции для сглаживания: ВЧ-фильтр.....	502
14.3.2. Скользящее усреднение: ВЧ-фильтр	505
14.3.3. Устранение тренда: НЧ-фильтр	506
14.3.4. Полосовая фильтрация.....	507
14.3.5. Спектральная фильтрация	509
14.3.6. Пример: вычисление спектра мощности.....	511
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	513
Приложение 1. Пользователям предыдущих версий Mathcad	515
Новые возможности Mathcad 13	515
Новые возможности Mathcad 12.....	516
Новые возможности Mathcad 11	517
Новые возможности Mathcad 2001 и 2001i.....	517
Приложение 2. Команды меню и панели инструментов.....	519
Приложение 3. Встроенные операторы и функции	532
Приложение 4. Сообщения об ошибках.....	555
Приложение 5. Ресурсы Mathcad	572
Приложение 6. Описание компакт-диска	574
Содержимое диска	574
Как пользоваться расчетами Mathcad	574
Как пользоваться учебником по вычислительной математике	578
Список литературы	582
I. Книги и мультимедийные учебники автора	582
II. Литература по математике и методам вычислений.....	583
Предметный указатель	584

Елене посвящаю эту книгу.

Введение

Mathcad — необычная программа. Она относится к классу приложений, называемых PSE (*problem solution environment* — *программная среда для решения задач*). Это подразумевает, что ее работа не определяется однозначно действиями пользователя (как, например, в текстовых редакторах и т. п.), а является (в большей степени) результатом работы встроенных алгоритмов, недоступных взору исследователя. Введя в редакторе Mathcad выражение, даже довольно простое, например, $df(x)/dx=$, и получив некоторый ответ, многие даже не задумываются о том, что для его вычисления проделывается довольно сложная работа, результат которой заранее не предопределен и зависит от целого ряда факторов, не представленных непосредственно на рабочей области документа (свойств функции f , параметров численного алгоритма дифференцирования, значений системных констант и т. д.). Поэтому, проводя даже очень простые расчеты, вам придется иногда сталкиваться с неочевидным поведением программы, которое нельзя понять без ясного представления об основах работы соответствующих алгоритмов, встроенных в Mathcad.

Приложение Mathcad компании MathSoft — самый популярный из компьютерных математических пакетов, остающийся, бесспорно, на протяжении многих последних лет лидером в своем классе математического и образовательного программного обеспечения (ПО). С его помощью можно решать самые разные математические задачи и оформлять результаты расчетов на высоком профессиональном уровне, и сейчас уже сложно представить современного ученого, не пользующегося Mathcad. При помощи этого пакета осуществляются не только простые и вспомогательные вычисления, но и довольно сложные расчеты и научные исследования, использующие комбинации самых разных численных алгоритмов и аналитических преобразований.

Суммируя сказанное, мне хочется отметить четыре основные цели, которые преследует эта книга (первые две из них являются главными).

1. Привести примеры решения в Mathcad стандартных задач и, по возможности, объяснить действие наиболее важных встроенных алгоритмов.

2. Предложить читателю не совсем очевидные приемы решения актуальных задач современной вычислительной науки (многие из которых разработаны автором в ходе научной и учебной деятельности), чтобы читатель мог использовать их в качестве идиом для своей работы.
3. Обозначить новые возможности и отличительные черты новой версии Mathcad 13.
4. Дать обширную справочную информацию, которая поможет читателю (уже накопившему опыт) быстро и эффективно работать в среде Mathcad.

Книга может использоваться как самоучитель, позволяющий "с нуля" освоить самые главные возможности вычислительной системы Mathcad и научиться с ее помощью решать все основные задачи математики. Тем не менее ее главная цель — изложить материал, делая акцент на решении конкретных математических проблем, причем я старался начинать рассказ с краткого определения математических понятий и терминов, конечно, имея в виду, что читатель обладает базовыми математическими знаниями. Книга не дает исчерпывающих сведений о всех деталях работы с Mathcad (с ними вы можете познакомиться, если обратитесь к моему Самоучителю, уже давно выходящему в издательстве "БХВ-Петербург"). Однако, следуя третьей из заявленных мной целей книги, несколько большее внимание уделено всем нововведениям 13-й версии, даже если они не являются важными с точки зрения работы с остальным материалом (большая часть такой информации оформлена в виде примечаний).

Хочется сделать еще несколько замечаний по строению книги. Все листинги автономны и работают вне каких-либо дополнительных модулей. В листингах умышленно, чтобы не загромождать их, нет текстовых полей, — 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. Я старался сделать так, чтобы книга была максимально полезной пользователям всех пяти последних версий Mathcad: 2001—13. Все файлы на прилагаемом к книге компакт-диске, насколько это возможно, записывались в формате самой "старой" версии Mathcad — 2001. Функциональности, появившиеся в "новых" версиях, отмечены символами ,  и .

Обозначенные символом  разделы содержат информацию, относящуюся к особенностям численных алгоритмов, а символом  — полезным советам, идиомам и программным решениям самого автора. Эти разделы при первом знакомстве с Mathcad могут быть пропущены. Пиктограмма  говорит о

том, что соответствующий пример вынесен из текста книги на прилагаемый к ней компакт-диск (который, кстати, содержит почти все листинги и графики из книги, за исключением тривиальных). Знак ¶ символизирует, что в данном разделе рассказывается о конкретном примере из области вычислительной математики, физики, химии, биологии или экономики.

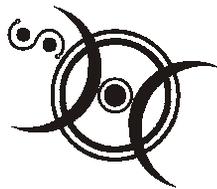
Обо всех перечисленных возможностях я попытался в доступной форме рассказать в этой книге. Дополнительную информацию читатель может получить в Интернете на сервере производителя Mathcad <http://www.mathcad.com>, дистрибьютора Mathcad в России <http://www.mathcad.ru>, на обучающем ресурсе автора на сервере ИПМ РАН им. М. В. Келдыша <http://www.keldysh.ru/comma> и на личной странице автора <http://www.kirianov.orc.ru>.



ЧАСТЬ I

ОСНОВНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ

Глава 1



Основные сведения о Mathcad

В данной главе рассмотрены базовые приемы работы с Mathcad 2001—13. Мы дадим самые основные сведения, касающиеся интерфейса и возможностей Mathcad, пользуясь тем, что он интуитивен и похож на другие программы Windows (*см. разд. 1.3*).

1.1. Знакомство с 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 PSE-приложений. Пользователи Mathcad — это студенты, ученые, инженеры, разнообразные технические специалисты и все, кому приходится проводить математические расчеты. 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.

1.1.1. Назначение Mathcad

Что из себя представляет система Mathcad? Следует хорошо представлять себе, что в состав Mathcad 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, позволяющий проводить аналитические вычисления и являющийся, фактически, системой искусственного интеллекта;
- огромное хранилище справочной информации, как математической, так и инженерной, оформленной в качестве интерактивной электронной книги.

Отличительной чертой Mathcad от большинства других современных математических приложений является его построение по принципу 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 можно 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 (как аналитических, так и при помощи численных методов);
- 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: 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 вами 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, а также многочисленные дополнительные материалы, оформленные в виде электронных книг (ресурсы Mathcad), помогают бы-

стро отыскать нужную математическую информацию или пример тех или иных расчетов.

Таким образом, следует хорошо представлять себе, что в состав Mathcad входит несколько интегрированных между собой компонентов — это мощный текстовый редактор для ввода и правки, 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.

1.1.2. Интерфейс пользователя

После того как Mathcad 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. Таким образом, интерфейс пользователя Mathcad сходен с другими приложениями Windows, и, помня о близости редактора Mathcad к обычным текстовым редакторам, вы интуитивно поймете назначение большинства кнопок на панелях инструментов.

Примечание

В версии Mathcad 13 разработчики предусмотрели специальную область окна Mathcad, называемую **Trace Window** (Окно отладки), а также дополнительную панель инструментов **Debug** (Отладка) (см. рис. 1.2). Окно отладки располагается под рабочей областью документа, примыкая сверху к строке состояния (см. 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. 1.2). С помощью этой, а также ряда вспомогательных наборных панелей удобно осуществлять ввод уравнений.

Перечислим составные элементы интерфейса пользователя Mathcad:

□ верхнее меню или строка меню (menu bar);

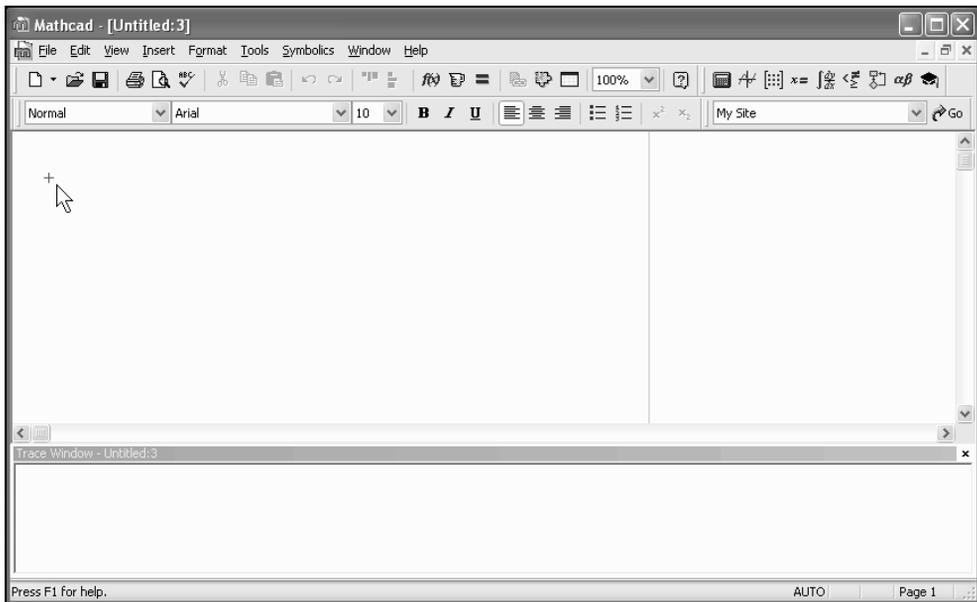


Рис. 1.1. Окно приложения Mathcad 13 с пустым документом

Примечание

Далее в книге, говоря о совершении того или иного действия с помощью меню, последовательность выбора пунктов меню будем приводить сокращенно, разделяя их косыми чертами. Например, пункт **Toolbars** меню **View** обозначается как **View / Toolbars**.

- панели инструментов (toolbars) **Standard** (Стандартная), **Formatting** (Форматирование), **Resources** (Ресурсы), **Debug** (Отладка) и **Controls** (Элементы управления);
- панель инструментов **Math** (Математика) и доступные через нее дополнительные математические панели инструментов;
- рабочая область (worksheet);
- вспомогательное окно **Trace Window** (Окно отладки);
- 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.

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

1.1.3. 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. 1.2 изображено окно Mathcad с основными панелями инструментов (три из них расположены непосредственно под строкой меню), а также дополнительными *математическими* (или *наборными*) панелями, о которых речь пойдет ниже. Перечислим основные панели.

- **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;

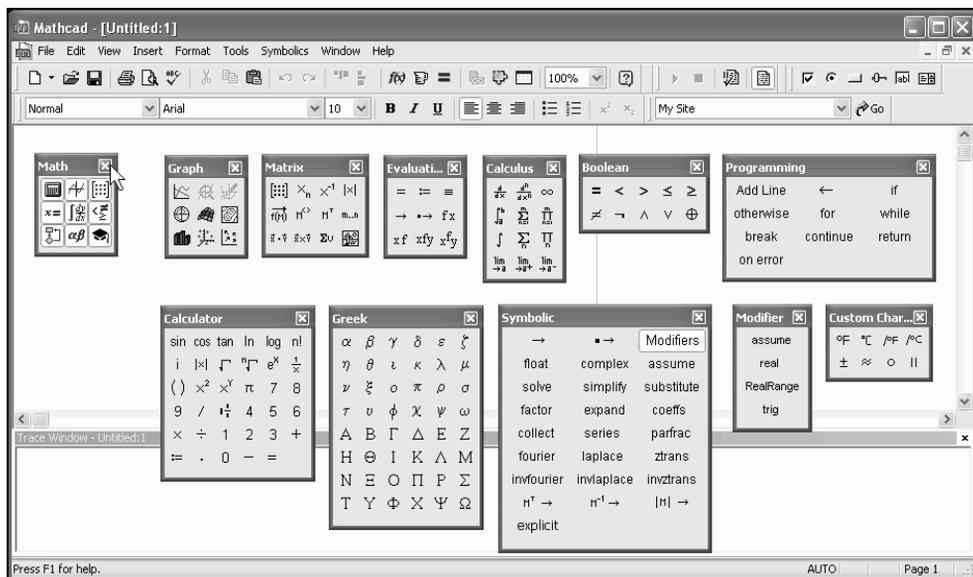


Рис. 1.2. Основные и математические (наборные) панели инструментов

- **Math** (Математика) — для вставки математических символов и операторов в документы;

- **Resources** (Ресурсы) — для быстрого вызова *ресурсов* Mathcad (примеров, учебников, электронных книг и т. п.);
- **Controls** (Элементы управления) — для вставки в документы стандартных элементов управления интерфейса пользователя (флажков проверки, полей ввода и т. п.). Эта панель на рис. 1.1 и 1.2 не показана.
- **Debug** (Отладка) — для управления отладкой Mathcad-программ.

13 **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. Наряду со всплывающей подсказкой, более развернутое объяснение готовящейся операции можно отыскать в строке состояния.

Панель **Math** (Математика) предназначена для вызова на экран еще девяти панелей (см. рис. 1.2), 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 вызвать какую-либо из них, нужно нажать соответствующую кнопку на панели **Math**.

Перечислим назначение математических панелей:

- **Calculator** (Калькулятор) — служит для вставки основных математических операций, получила свое название из-за схожести набора кнопок с кнопками типичного калькулятора;
- **Graph** (График) — для вставки графиков;
- **Matrix** (Матрица) — для вставки матриц и матричных операторов;
- **Evaluation** (Выражения) — для вставки операторов управления вычислениями;
- **Calculus** (Вычисления) — для вставки операторов интегрирования, дифференцирования, суммирования;
- **Boolean** (Булевы операторы) — для вставки логических (булевых) операторов;
- **Programming** (Программирование) — для программирования средствами Mathcad;

- **Greek** (Греческие символы) — для вставки греческих символов;
- **Symbolic** (Символика) — для вставки символьных операторов;
- **Modifier** (Модификатор) — для вставки некоторых операторов (например, преобразования числа);
- **Custom Characters** (Специальные символы) — для вставки специальных символов (единиц измерения температуры и т. п.).

Примечание

Две последние (из перечисленных) панели используются довольно редко и потому вызываются не через панель **Math** (Математика), а посредством команды меню **View / Toolbars** (Вид / Панели инструментов).

13 Примечание

Панель инструментов **Custom Characters** (Специальные символы) появилась в версии Mathcad 13, вместе с дополнительными размерностями температуры (в частности, градусов шкалы Цельсия и Фаренгейта).

При наведении указателя мыши на многие из кнопок математических панелей появляется всплывающая подсказка, содержащая еще и сочетание *горячих клавиш*, нажатие которых приведет к эквивалентному действию. Ввод действий с клавиатуры часто удобнее нажатия кнопок панелей инструментов, но требует большего опыта.

Вызвать любую панель на экран или скрыть ее можно с помощью пункта **Toolbars** (Панели инструментов) меню **View** (Вид), выбирая в открывающемся подменю имя нужной панели. Убрать любую панель с экрана можно еще и посредством контекстного меню, которое вызывается щелчком правой кнопкой мыши в любом месте панели (например, на любой кнопке). В контекстном меню следует выбрать пункт **Hide** (Скрыть). Кроме того, если панель *плавающая*, т. е. не прикреплена к основному окну (как, например, все панели на рис. 1.2), то ее можно отключить кнопкой закрытия.

Математические панели, в отличие от основных, можно вызвать или скрыть нажатием соответствующей кнопки панели **Math** (Математика). Присутствие или отсутствие математических панелей показано в виде нажатой (или отжатой) соответствующей кнопки (см. рис. 1.2).

На некоторых рисунках этой главы (см., например, рис. 1.1) виден *курсор* ввода в виде небольшого крестика (на дисплее он имеет красный цвет). С его помощью отмечается незаполненное место в документе, куда в текущий момент можно вводить формулы или текст. Чтобы переместить курсор, достаточно щелкнуть указателем мыши в требуемом месте либо передвинуть его

клавишами-стрелками. Если выполнить щелчок в области формулы или начать ввод выражения на пустом месте, вместо курсора появятся линии редактирования, отмечающие место в формуле или тексте, редактируемое в данный момент (см., например, рис. 1.5 и 1.6 ниже).

1.1.4. Справочная информация

Вместе с Mathcad поставляется несколько источников справочной информации, доступ к которым осуществляется через меню **Help** (Справка).

□ Справочные системы по вопросам использования Mathcad:

- **Mathcad Help** (Справка) — система *справки* или *технической поддержки*;
- **What's This** (Что это такое?) — контекстно-зависимая интерактивная справка;
- **Developer's Reference** (Справка для разработчиков) — дополнительные главы справки для разработчиков собственных самостоятельных приложений на языке Mathcad;
- **Author's Reference** (Справка для авторов) — дополнительные главы справки для авторов, разрабатывающих собственные электронные книги Mathcad.

□ Ресурсы Mathcad — дополнительные материалы, организованные в специфическом формате электронных книг Mathcad с решением множества математических примеров (пример одной из страниц электронной книги показан на рис. 1.3):

- **Tutorials** (Учебники) — библиотека электронных книг Mathcad с примерами, которые построены в форме обучающих курсов (от учебника для начинающих пользователей до учебника, адресованного математикам-профессионалам);
- **QuickSheets** (Быстрые шпаргалки) — большое число документов Mathcad, организованных в виде электронной книги, которые удобно использовать в качестве шаблона для собственных расчетов;
- **Reference Tables** (Справочный стол) — физические и инженерные таблицы, включающие перечни фундаментальных констант, единиц измерения величин, сводку разнообразных параметров веществ и т. п.;
- **E-Books** (Электронные книги) — доступ к существующим библиотекам документов пользователя, примерам, а также встроенным электронным книгам, посвященным расширениям Mathcad.

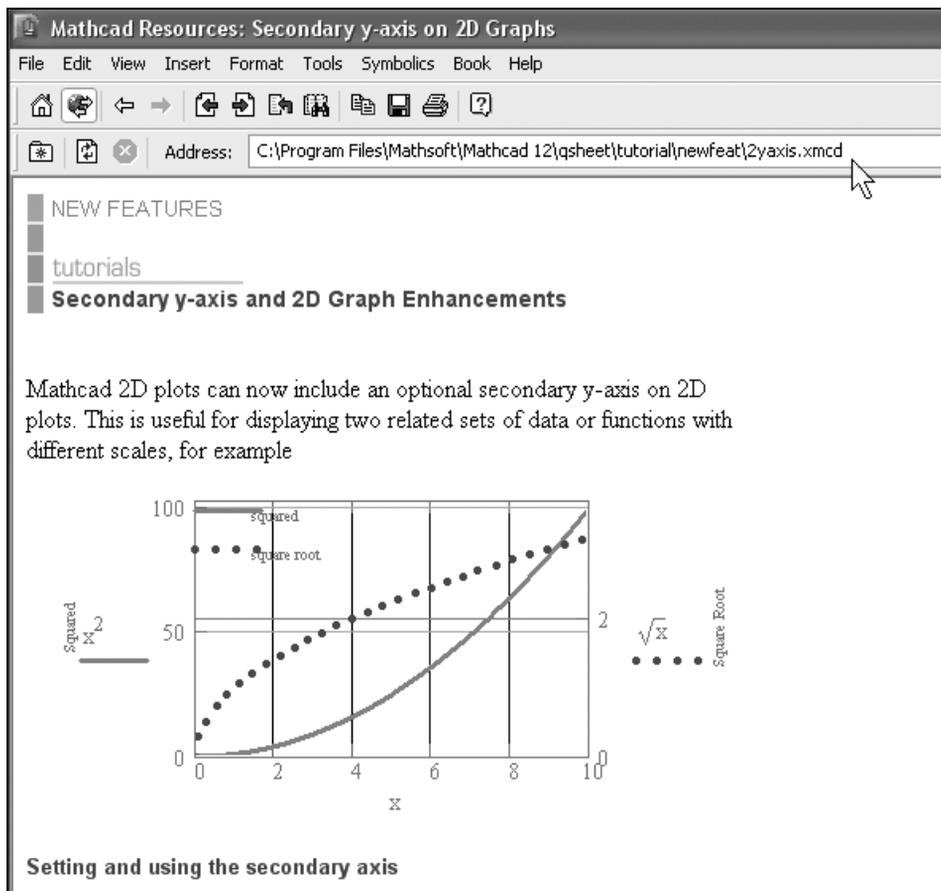


Рис. 1.3. Ресурсы Mathcad содержат большое количество справочной и учебной информации

Кроме поименованных, меню **Help** (Справка) содержит следующие пункты:

□ Mathcad в сети Интернет:

- **User Forums** (Форумы) — подключение к специальному интернет-сервису компании MathSoft, дающему возможность пользователям Mathcad общаться между собой, обмениваться программами и получать советы (как друг от друга, так и от разработчиков);
- **Mathcad.com** — переход на официальный сайт приложения Mathcad;
- **Mathcad Update** (Обновление Mathcad) — проверка сайта фирмы MathSoft на наличие обновлений Mathcad;

- **About Mathcad** (О программе) — вывод информационного окна со сведениями о текущей версии Mathcad и его разработчиках;
- **Register Mathcad** (Зарегистрировать Mathcad) — регистрация программы через Интернет.

Если в какой-либо момент работы с Mathcad вам потребовалась помощь, выберите **Help / Mathcad Help**, либо нажмите клавишу <F1>, либо кнопку **Help** со знаком вопроса на стандартной панели инструментов. Справка в Mathcad является контекстно-зависимой, т. е. ее содержание определяется тем, на каком месте документа она вызвана.

11 *Примечание*

Помимо описанной стандартной справочной системы, построенной в гипертекстовом виде, Mathcad комплектуется также более полным руководством пользователя в формате PDF. Доступ к PDF-версии руководства пользователя осуществляется через главное меню Windows, т. е. кнопку **Start** (Пуск). Следует отыскать в разделе **Programs** (Программы) главного меню группу программ компании MathSoft и выбрать пункт **Mathcad User Guide**. В 13-й версии открыть PDF-руководство можно и через домашнюю страницу справочной системы, выбрав на ней пункт **User's guide** (Руководство пользователя).

В заключение этого раздела отметим, что как справочная система, так и ресурсы Mathcad представляют собой не просто статьи и примеры с описанием его возможностей. Они могут быть названы полноправными учебными пособиями по нескольким курсам высшей математики (в случае ресурсов, к тому же, еще и интерактивными). Там освещены и основные определения, и математический смысл многих операций, и алгоритмы численных методов. Причем, на взгляд автора, некоторые из тем объяснены лучше, чем где бы то ни было. Если вы в достаточной степени владеете английским языком, обязательно ознакомьтесь с ресурсами Mathcad.

1.2. Основы вычислений в Mathcad

Продемонстрируем, как можно быстро начать работу с Mathcad, научиться вводить математические выражения и получать результаты расчетов.

Внимание!

Большая часть содержания книги с одинаковым успехом применима к пяти последним версиям Mathcad: 2001, 2001i, 11, 12 и 13. Если определенные опции касаются только некоторых версий, на это делается соответствующее указание.

1.2.1. Операторы численного и символьного вывода

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

1. Определите место в документе, где должно появиться выражение, щелкнув мышью в соответствующей точке документа.
2. Введите левую часть выражения.
3. Введите знак численного равенства = (клавишей $\langle \Rightarrow \rangle$) или символьного равенства \rightarrow (сочетанием клавиш $\langle \text{Ctrl} \rangle + \langle \rightarrow \rangle$). В первом случае будет рассчитано численное значение выражения, а во втором (если это возможно) — аналитическое.

Оставим пока разговор о более надежных способах ввода математических символов и приведем пример простейших расчетов. Для вычисления арккосинуса какого-нибудь числа, например, 0, достаточно ввести с клавиатуры выражение $\text{acos}(0)=$ или $\text{acos}(0)\rightarrow$. После того как будет нажата клавиша со знаком равенства (или введен знак символьных вычислений \rightarrow), с правой стороны выражения, как по мановению волшебной палочки, появится результат (листинги 1.1 и 1.2 соответственно).

Листинг 1.1. Численный расчет простого выражения

$$\text{acos}(0) = 1.571$$

Листинг 1.2. Аналитический расчет простого выражения

$$\text{acos}(0) \rightarrow \frac{1}{2} \cdot \pi$$

Примечание 1

Здесь и далее во всей книге в листинги вынесено содержание рабочей области документа Mathcad вместе с полученными результатами вычислений. Почти все листинги выглядят в окне Mathcad рассматриваемых версий совершенно одинаково. Исключение составляют листинги, содержащие новые возможности той или иной версии Mathcad (в этих случаях они снабжены специальной ремаркой). Все листинги (а также рисунки) книги помещены также и на прилагаемом к ней компакт-диске, причем, по возможности, в формате Mathcad 2001, что позволяет просматривать их с одинаковым успехом при помощи любой из пяти версий программы (2001—13), которая установлена на вашем компьютере.

12 13 **Примечание 2**

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 быстроты 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.

Важно отметить, что по умолчанию вычисления в документе производятся в режиме реального времени, т. е. как только пользователь вводит в формулу оператор численного или символьного равенства, Mathcad пытается вычислить это выражение (и все остальные формулы, находящиеся ниже по тексту). Иногда, в основном в случае сложных и долгих расчетов, бывает полезно остановить их нажатием клавиши <Esc>, а затем (в нужный момент) возобновить нажатием клавиши <F9> или командой **Tools / Calculate** (Сервис / Вычислить) и **Tools / Calculate Worksheet** (Сервис / Вычислить во всем документе).

1.2.2. Математические выражения и встроенные функции

Описанным в предыдущем разделе образом можно проводить более сложные и громоздкие вычисления, пользуясь при этом всем арсеналом функций, которые заложены разработчиками в систему Mathcad и называются поэтому *встроенными функциями* (в отличие от *пользовательских* функций, конструируемых непосредственно при разработке Mathcad-программы). Легче всего вводить имена встроенных функций с клавиатуры, как в примере с вычислением арккосинуса, но, чтобы избежать возможных ошибок в их написании, лучше выбрать другой путь (тем более что многие из них весьма сложны и имеют несколько аргументов, так что сложно запомнить имена и параметры всех функций наизусть).

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.
3. В списке **Function Category** (Категория функции) появившегося диалогового окна **Insert Function** (Вставить функцию) (рис. 1.4) 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: в нашем примере — арккосинуса (**acos**). В случае затруднения с выбором ориентируйтесь на подсказку, появляющуюся при выборе функции в нижнем текстовом поле диалогового окна **Insert Function**.
5. Нажмите кнопку **OK** — функция появится в документе.
6. Введите недостающие аргументы введенной функции (в нашем случае это число 0) в *местозаполнителе*, обозначаемом черным прямоугольником (нижнее выражение на рис. 1.5).

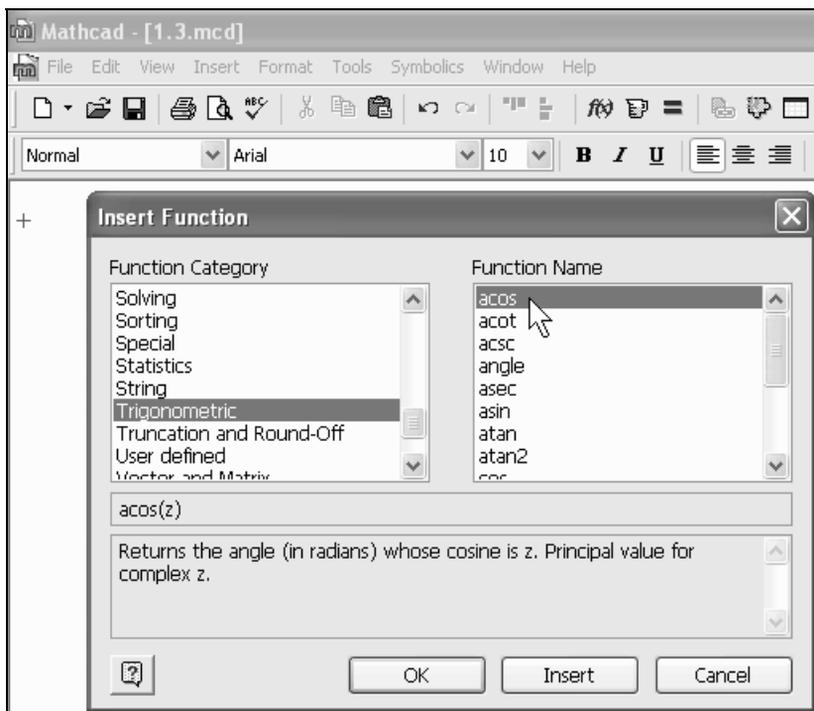


Рис. 1.4. Вставка встроенной функции
(см. листинги 1.1 и 1.2)

Результатом будет введение выражения из листинга 1.1, для получения значения которого осталось лишь ввести знак (численного или символьного) вывода (оба примера приведены на рис. 1.5).

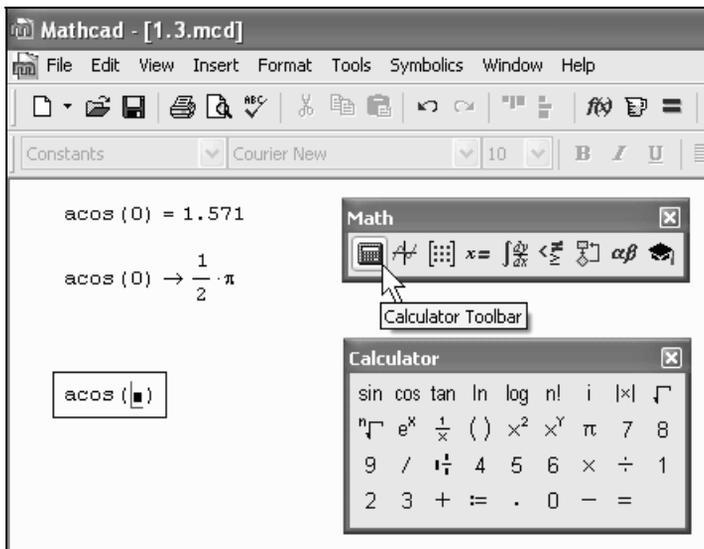


Рис. 1.5. Панель инструментов **Math** служит для вызова на экран остальных наборных панелей

Примечание

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

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 мы уже говорили ранее, одна из них — панель инструментов **Math** (Математика), показанная 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. 1.5 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. 1.5, как легко увидеть, на панели **Math** в нажатом состоянии находится только одна кнопка (левая, на которую