

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»



И.В. Черных

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА *MATHCAD 2001i* ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Учебное электронное текстовое издание
Подготовлено кафедрой «Техника высоких напряжений»
Научный редактор: проф., д-р техн. наук В.В. Шипицын

Методическая разработка по курсу «Исследования и расчеты на
ЭВМ в ТВН» для студентов всех форм обучения специальности
140201 – Высоковольтная электроэнергетика и электротехника

Рассматриваются вопросы практического применения программы *MATHCAD 2001i* (русская редакция). Описаны основные приемы работы. Приведен перечень операторов и функций. Даны рекомендации по моделированию электротехнических устройств. Приведено большое количество примеров.

© ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005

Екатеринбург
2005

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие сведения.....	6
2. Запуск MathCAD	6
3. Редактирование документа MathCAD.....	8
3.1. Типы курсора	8
3.2. Замена символов	8
3.3. Вставка оператора	9
3.4. Перемещение частей формулы	9
3.5. Удаление частей формулы.....	9
3.6. Вставка и удаление пустых строк.....	9
3.7. Работа с текстом	10
4. Вычисления	10
4.1. Примеры простых вычислений	10
4.2. Операторы	11
4.2.1. Арифметические операторы.....	11
4.2.2. Логические операторы	12
4.2.3. Операторы математического анализа.....	12
4.3. Ввод и вывод данных	12
4.3.1. Ввод и вывод числовых значений переменных.....	12
4.3.2. Ввод и вывод значений элементов матрицы или вектора	13
4.4. Использование файлов для ввода и для вывода данных	15
4.5. Построение графиков.....	16
4.5.1. Построение графика функции в прямоугольных осях координат	17
4.5.2. Построение таблично заданной функции	18
4.6. Дискретный аргумент	19
4.7. Вычисления с матрицами	21
4.8. Параллельные вычисления	24
4.9. Интерполяция данных.....	25
4.9.1. Линейная интерполяция.....	25
4.9.2. Сплайн интерполяция	26
4.10. Сглаживание функций	27
4.11. Регрессионный анализ	28
4.11.1. Линейная регрессия.....	29
4.11.2. Полиномиальная регрессия	29
4.12. Решение уравнения с одной неизвестной	30
4.13. Решение системы линейных уравнений.....	31
4.14. Решение системы нелинейных уравнений.....	32
4.15. Решение дифференциального уравнения первого порядка	34
4.16. Решение систем дифференциальных уравнений	36
4.17. Комплексные числа и вычисления с ними	37
5. Программирование.....	39
5.1. Кнопка Add Line	39
5.2. Оператор локального присваивания.....	40

5.3. Условные операторы	40
5.3.1. Условный оператор if	40
5.3.2. Условный оператор otherwise	41
5.4. Циклы	42
5.4.1. Цикл while	42
5.4.2. Оператор break	43
5.4.3. Цикл for	44
5.4.4. Оператор continue	44
5.4.5. Оператор return	45
5.4.6. Оператор on error и функция error	45
Библиографический список	47
Приложение 1. Команды меню	48
Приложение 2. Встроенные операторы	53
Приложение 3. Встроенные функции	57
Приложение 4. Предопределенные переменные	71
Приложение 5. Окончания чисел	72
Приложение 6. Алфавитный список сообщений об ошибках	73
Приложение 7. Сообщения об ошибках	75

1. Общие сведения

MathCAD является универсальным математическим пакетом. Он предоставляет пользователю одновременно оперативные возможности электронной таблицы и интерфейс *WYSIWYG* текстового процессора. Ввод уравнений в MathCAD полностью совпадает с привычной типографской математической записью. Но уравнения MathCAD не только хорошо выглядят на экране дисплея, но и действительно удобны для математических преобразований.

Как в электронных таблицах, любое изменение содержимого рабочего документа MathCAD вызывает обновление всех зависимых результатов и перерисовку графиков. MathCAD позволяет легко читать данные из файлов и подвергать их любой математической обработке: от сложения столбца чисел до вычисления интегралов и производных, обращения матриц и т. д. Фактически MathCAD может выполнить любые математические операции.

Подобно текстовому процессору MathCAD имеет интерфейс *WYSIWYG*, множество различных шрифтов и способность напечатать то, что изображается на экране дисплея на любом принтере, поддерживаемом Windows. Это качество вместе с оперативными возможностями MathCAD позволяет быстро производить техническую документацию и отчеты типографского качества.

2. Запуск MathCAD

Двойной щелчок на пиктограмме MathCAD вызывает появление заставки, и затем открывается окно приложения, показанное на рис. 1.

Формулы могут размещаться в любом месте рабочего документа MathCAD. Чтобы подвести курсор к нужному месту, не видимому в настоящий момент в окне, можно использовать полосы прокрутки, как в любой программе для Windows. Подобно другим программам для Windows, MathCAD содержит полосу меню. Чтобы вызвать меню, достаточно щелкнуть по нему мышью или нажать клавишу Alt вместе с подчеркнутым символом. Например, для вызова меню Файл нужно нажать Alt-Ф.

Ниже полосы меню находится панель инструментов. Многие команды меню можно быстро вызвать, нажав кнопку на панели инструментов. Для того чтобы узнать, что делает кнопка, достаточно подвести к ней указатель «мыши», и появится строка сообщения.

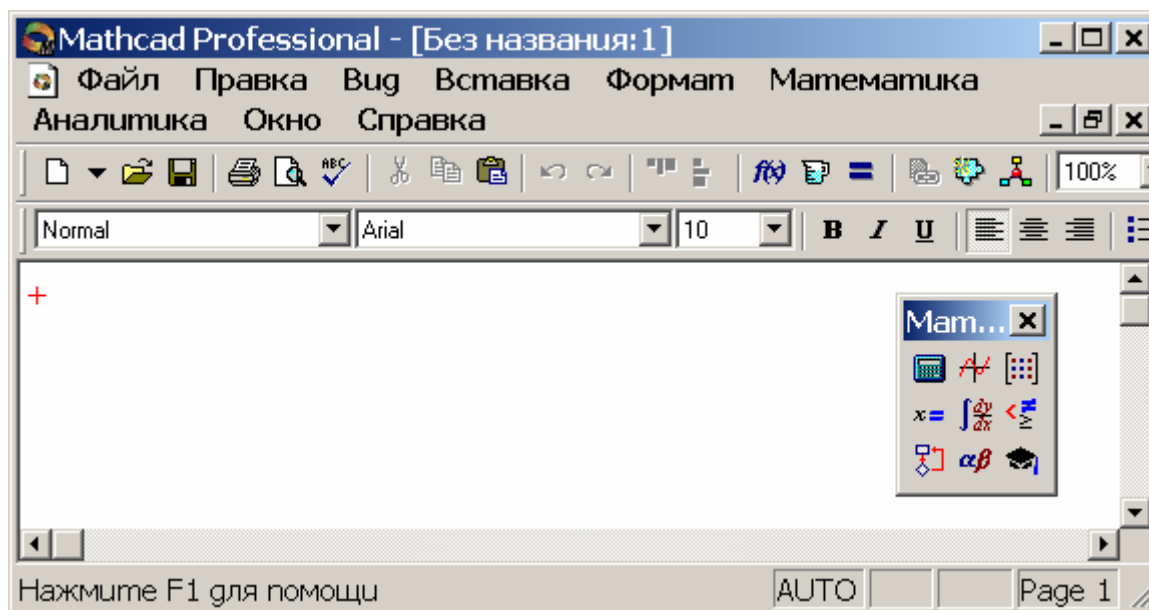


Рис. 2.1. Окно MathCAD

Прямо под панелью инструментов располагается панель Форматирование. Она содержит шаблоны выбора и кнопки, используемые для задания характеристик шрифтов в уравнениях и в тексте.

Каждая кнопка в панели инструментов Математика, открывает в свою очередь новую панель инструментов. Эти панели инструментов служат для вставки операторов, греческих букв, графиков и т. п. В таблице 1.1 приведен список панелей инструментов.

Таблица 1.1

Кнопка	Панель инструментов
	Общие арифметические операторы
	Знак равенства. Знаки отношения
	Различные двух- и трехмерные графики
	Матричные и векторные операции
	Производные, интегралы и пределы. Ряды и произведения
	Программные структуры
	Греческие буквы
	Знаки вычисления и операторы
	Операторы символьных вычислений

В целях экономии места на экране каждая из панелей инструментов может быть выведена на экран либо скрыта с помощью соответствующей команды из меню Вид. Любая из этих панелей может быть перемещена в произвольное место

окна. Для этого нужно поместить указатель мыши в любое место панели, кроме кнопок и текстовых элементов, и, держа кнопку мыши нажатой, переместить панель в желаемое место. Панель инструментов будет автоматически перестраиваться соответственно месту экрана, в которое она попадает, а полоса шрифта, напротив, всегда будет сохранять свою форму.

3. Редактирование документа MathCAD

3.1. Типы курсора

- Визир:



Визир появляется только за пределами областей с формулами и текстом. Только этот курсор может появляться в пустом месте документа MathCAD. Для появления визира нужно щелкнуть в любом свободном месте документа. Для перемещения визира требуется щелкнуть в нужном месте. Можно также использовать клавиши управления курсором. Новое выражение или текстовая область начинаются в том месте, где расположен визир. При начале ввода выражения или текста курсор принимает другую форму.

- Маркер ввода:



Маркер ввода появляется вместо визира при переходе к набору текста. Он показывает место ввода следующего символа.

- Выделяющий уголок:

Выделяющий уголок может появляться только в выражениях. Для его появления нужно щелкнуть на операторе или на выражении. Вертикальная часть уголка является маркером ввода и показывает место ввода следующего символа в выражении. Горизонтальная часть уголка определяет ту часть выражения, к которой будет относиться следующий введенный оператор. Для перемещения выделяющего уголка в выражении можно пользоваться клавишами управления курсором. Для изменения области охвата выделяющего уголка следует использовать клавишу Пробел.

3.2. Замена символов

Для удаления символа требуется поместить курсор ввода справа от удаляемого символа и затем нажать клавишу BkSp (забой) на клавиатуре. Можно также охватить число, выражение или часть выражения выделяющим уголком таким образом, чтобы угол находился слева от выражения, и затем нажать клавишу Delete

на клавиатуре. После удаления требуемого фрагмента необходимо щелкнуть в поле ввода и впечатать новое число или символ.

3.3. Вставка оператора

При вставке оператора нужно помнить, что все заключенное выделяющим уголком становится первым операндом следующего оператора. Для того чтобы вставить оператор, нужно:

- охватить операнд выделяющим уголком (при этом можно использовать клавишу Пробел, если требуется изменить область охвата);
- набрать комбинацию клавиш, задающую оператор (чтобы вставить оператор перед выделенным выражением, нужно нажать Ins перед вводом оператора), или ввести оператор с помощью панели инструментов.

3.4. Перемещение частей формулы

Для того чтобы переместить часть выражения в пустое поле или в пустое пространство документа MathCAD, нужно:

- заключить выражение, которое требуется переместить, в выделяющий уголок;
- нажать Ctrl+X или Ctrl+C чтобы вырезать или скопировать выражение в Буфер Обмена. Можно также воспользоваться пунктом меню Правка/Вырезать или Правка/Копировать;
- щелкнуть в свободном пространстве или в поле ввода, где необходимо вставить выражение;
- нажать Ctrl+V, чтобы вставить выражение. Можно также воспользоваться пунктом меню Правка/Вставить.

3.5. Удаление частей формулы

Для того чтобы удалить часть выражения, нужно:

- заключить выражение, которое требуется удалить, в выделяющий уголок таким образом, чтобы угол находился слева от выражения;
- нажать клавишу Delete на клавиатуре.

3.6. Вставка и удаление пустых строк

Чтобы вставить пустую строку необходимо щелкнуть в свободном месте, над которым нужно вставить пустую строку. Появится визир. Затем требуется нажать комбинацию клавиш Ctrl+F9.

Для удаления пустой строки необходимо после позиционирования визира нажать комбинацию клавиш Ctrl+F10.

3.7. Работа с текстом

Для размещения небольших фрагментов текста между формулами и графиками в рабочем документе можно создавать текстовые области. Для создания текстовой области необходимо щелкнуть в месте предполагаемой текстовой области и затем выбрать пункт меню Вставка/Текстовая область. MathCAD создаст текстовую область, визир превратится в маркер ввода, и появится текстовая рамка. После ввода текста необходимо щелкнуть в свободном месте документа, чтобы закрыть текстовую область.

Можно поместить математическую область в текстовую область. Такая математическая область сохранит все свои свойства, как и будучи размещенной вне текста. Для этого необходимо выполнить следующее:

- щелкнуть внутри текста, в который нужно поместить математическую область;
- выбрать пункт меню Вставка/Математическая область. MathCAD вставит в текст пустое поле ввода;
- ввести в поле ввода выражение точно так же, как и в любом другом месте рабочего документа.
- Когда ввод выражения завершен, нужно щелкнуть в любом месте текста, чтобы вернуться в текстовый режим.

4. Вычисления

4.1. Примеры простых вычислений

Хотя MathCAD предназначен для сложных математических вычислений, его легко можно использовать как простой калькулятор. Ниже приводятся примеры подобных расчетов.

Вычисление выражения:

$$\frac{7}{5 \cdot 3} - 2.8 = -2.333$$

Присвоение значения переменным. Оператор присваивания – клавиша двоеточие в латинском регистре:

$$a := 3$$

$$b := 7$$

Вычисление выражений с использованием ранее определенных переменных:

$$a \cdot b - 3 = 18$$

$$\frac{a}{b} = 0.429$$

$$-a + b = 4$$

$$a + b + 4 - 7.5 = 6.5$$

$$\sqrt{a + \frac{b}{4}} = 2.179$$

$$\sqrt[3]{7.8 \cdot a} = 2.86$$

$$(a + b)^{3.4} = 2.512 \cdot 10^3$$

Основным преимуществом MathCAD по сравнению с обычным калькулятором являются возможность возвращения к ранее выполненным расчетам и внесения в них изменений. После внесения изменений MathCAD позволяет провести перерасчет всех выражений без их повторного набора. MathCAD также дает возможность сохранить все расчеты в виде файла и вернуться к ним в любое время.

4.2. Операторы

4.2.1. Арифметические операторы

В таблице 4.1 приведен список арифметических операторов доступных в MathCAD.

Таблица 4.1

Оператор	Клавиши
Сложение с переносом	Ctrl-Enter
Сложение	+
Комплексное сопряжение	"
Деление	/
Возведение в степень	^
Факториал	!
Абсолютная величина	
Умножение	*
Отрицание	-
Корень n -ной степени	Ctrl-\
Оператор произведения	Ctrl-Shift-3
Произведение по дискретному аргументу	#
Суммирование по дискретному аргументу	\$
Квадратный корень	\
Вычитание	-
Оператор суммирования	Ctrl-Shift-4

4.2.2. Логические операторы

В таблице 4.2 приведен список логических операторов, доступных в MathCAD.

Таблица 4.2

Оператор	Клавиши
Больше	>
Меньше	<
Больше либо равно	Ctrl-0
Меньше либо равно	Ctrl-9
Не равно	Ctrl-3
Равно	Ctrl-=

4.2.3. Операторы математического анализа

В таблице 4.3 приведен список операторов математического анализа, доступных в MathCAD.

Таблица 4.3

Оператор	Клавиши
Дифференцирование	?
Интегрирование	&
Производная n -ного порядка	Ctrl-?

4.3. Ввод и вывод данных

4.3.1. Ввод и вывод числовых значений переменных

Для присвоения значения переменной в MathCAD предусмотрен оператор присваивания, печатающийся при нажатии клавиши двоеточие в латинском регистре. При этом имя переменной должно находиться слева от символа присваивания, а числовое значение необходимо печатать справа от этого символа. Для просмотра значения переменной необходимо использовать знак равенства, который нужно напечатать сразу же за именем переменной.

Задача. Присвоить числовое значение 0.345 переменной a и вывести значение этой переменной.

Решение:

$a:=0.345$ Присвоение значения переменной. Оператор присваивания вводится нажатием клавиши двоеточие в латинском регистре.

$a=0.345$ Просмотр значения переменной. Для просмотра значения переменной нужно напечатать знак равенства справа от имени переменной.

Для изменения формата выводимых чисел необходимо открыть панель диалога в меню Формат/Результат..., затем перейти на вкладку Формат чисел и установить требуемое число значащих цифр.

4.3.2. Ввод и вывод значений элементов матрицы или вектора

Для ввода значений элементов матрицы размерностью не более чем 10×10 элементов предпочтительнее использовать массив пустых полей, создаваемый с помощью панели инструментов Матрицы или при нажатии сочетания клавиш Ctrl-m. При нажатии указанной комбинации появляется диалоговое окно, в котором можно задать количество строк или столбцов матрицы. При вводе значений необходимо с помощью мыши или клавиши Tab перемещать курсор от одного поля к другому и печатать значения элементов матрицы. Для просмотра значений элементов матрицы необходимо напечатать знак равенства справа от имени матрицы.

Задача. Создать матрицу размерностью 2×3 и присвоить элементам матрицы произвольные значения. Просмотреть значения элементов матрицы.

Решение:

$$a := \begin{pmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{pmatrix}$$

$$a := \begin{pmatrix} 1.2 & -3.45 & 200.01 \\ 1.2 \cdot 10^{-6} & \sin(1.57) & 2.7 \end{pmatrix}$$

$$a = \begin{pmatrix} 1.2 & -3.45 & 200.01 \\ 1.2 \cdot 10^{-6} & 1 & 2.7 \end{pmatrix}$$

С помощью комбинации клавиш Ctrl-m обратиться к диалоговому окну для указания числа строк и столбцов матрицы, задать количество строк и столбцов и, с помощью мыши, нажать кнопку Вставить.

Ввести значения элементов в поля для ввода. В качестве элементов можно указывать не только числа, но и выражения или имена переменных.

Просмотр значения элементов матрицы. Для просмотра нужно напечатать знак равенства справа от имени переменной.

Ввод значений элементов матрицы, размерность которой превышает десять столбцов или строк, можно выполнять с помощью таблицы ввода. Для этого необходимо сначала определить индексированную переменную, а затем ввести значения в таблицу. При вводе в таблицу создание новой ячейки ввода выполняется нажатием клавиши запятая в латинском регистре. Таблица ввода не может иметь число ячеек более 50. Для ввода большего числа значений можно использовать несколько таблиц или выполнять ввод из файла. Вставка дополнительных ячеек в таблицу выполняется при нажатии клавиши запятая в латинском регистре. Для удаления ячейки нужно заключить содержимое ячейки в выделяющий уголок таким образом, чтобы он находился слева от числа и использовать клавишу Delete.

Для просмотра значений элементов матрицы необходимо напечатать знак равенства справа от имени матрицы. В этом случае на экране будет показана Таблица

вывода. Для больших матриц (с числом строк или столбцов более 9) Таблица вывода будет снабжена полосой прокрутки. Можно также изменить формат отображения матрицы. Для этого необходимо обратиться к пункту меню Формат/Результат..., затем перейти на вкладку Параметры отображения и установить требуемый способ отображения матрица или таблица.

Задача. Создать вектор размерностью 12×1 и присвоить элементам вектора произвольные значения. Просмотреть значения элементов вектора.

Решение:

$k := 0 \dots 11$ Определение индексированной переменной.

$a_k :=$

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

Ввод значений элементов с помощью таблицы. Индекс элемента вектора вводится с помощью клавиши [. Создание новой ячейки ввода выполняется нажатием клавиши запятая в латинском регистре.

$a =$

	0
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8	9
9	10
10	11
11	12

Просмотр значения элементов матрицы. Для просмотра нужно напечатать знак равенства справа от имени переменной.

При определении элементов матрицы или вектора, часть из них можно оставлять не определенными. В этом случае MathCAD примет их по умолчанию равными нулю.

Задача. Создать вектор из 5 элементов и присвоить всем элементам вектора значения равные нулю, за исключением последнего. Последнему элементу присвоить значение 2.55.

Решение:

$$v_4 := 2.55$$

Присвоение элементу с индексом 4 (т. е. пятому элементу вектора) значения 2.55. На первый взгляд этим определяется только один элемент. На самом же деле создается вектор из пяти чисел. Индекс элемента вектора вводится с помощью клавиши [.

$$v = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \end{bmatrix}$$

Просмотр значений элементов вектора.

4.4. Использование файлов для ввода и для вывода данных

Для ввода значений переменных и элементов матриц из файла или записи их в файл используются специальные функции.

Функции READPRN(file) и WRITEPRN(file) предназначены для считывания или записи значения переменной или матрицы из файла или в файл. Имя файла подчиняется тем же правилам, что и имя переменной. По умолчанию имя файла для считывания имеет расширение dat, а имя файла для записи – prn. При применении функций READPRN и WRITEPRN следует иметь в виду, что каждое использование этих функций открывает файл заново и считывание данных производится с начала файла. В отличие от других функций, функции работы с файлами не обрабатываются автоматически, поэтому при изменениях в выражениях с использованием данных функций необходимо щелкнуть на таком выражении и нажать клавишу F9 для обновления расчета или выполнить команду Математика/Просчитать Документ.

Для дописывания данных в существующий файл предназначена функция APPENDPRN(file).

Для управления точностью представления чисел при записи в файл используются переменные PRNPRECISION (задает число значащих цифр после запятой) и PRNCOLWIDHT (задает размер поля для вывода числа).

Задача. Считать из файла x.dat значение переменной x .

Решение:

$x := \text{READPRN}("x.dat")$

Задача. Считать из файла xyz.dat значение переменных x, y, z .

Решение:

$(x \ y \ z) := \text{READPRN}("xyz.dat")$ Имена переменных x, y и z помещаются на места элементов матрицы.

Задача. Считать из файла Surface1.dat значения элементов матрицы a .

Решение:

$a := \text{READPRN}("Surface1.dat")$

Задача. Записать в файл x.res значение переменной x .

Решение:

$\text{WRITEPRN}("x.res") := x$

Задача. Записать в файл xyz.res значение переменных x, y, z .

Решение:

$\text{WRITEPRN}("xyz.res") := (x \ y \ z)$ Имена переменных x, y и z помещаются на места элементов матрицы.

Задача: Записать в файл Surface1.res значения элементов матрицы a с точностью 5-ти значащих цифр после запятой в поле шириной 10 символов.

Решение:

$\text{PRNPRECISION} := 5$ Устанавливаем точность представления чисел.

$\text{PRNCOLWIDTH} := 10$ Устанавливаем ширину поля числа.

$\text{WRITEPRN}("xyz.res") := (x \ y \ z)$ Имена переменных x, y и z помещаются на места элементов матрицы.

4.5. Построение графиков

Пакет MathCAD позволяет выполнять построение семи разных типов графиков: декартов график, полярный график, график поверхности, карта линий уровня, векторное поле, трехмерный точечный график и трехмерная гистограмма.

Построение всех типов графиков сводится к трем шагам:

- Задание вида функции.
- Формирование вектора значений аргумента.
- Построение графика.

Третий шаг в свою очередь состоит опять же из трех шагов:

- Построение заготовки графика (клавиша @).

– Заполнение двух черных квадратов (полей ввода) именем функции и именем аргумента. Если функций больше одной, то их имена вводятся через запятую. График появляется после вывода курсора из зоны графика (автоматический режим) или после нажатия клавиши F9 (ручной режим).

– Форматирование графика. Данный пункт выполняется, если пользователя не устраивают параметры графика заданные по умолчанию. При форматировании графика можно изменять вид, цвет и толщину линии графика, наносить или убирать маркеры, изменять названия кривых, изменять тип и вид осей графика, наносить координатную сетку и т. п. Для форматирования графика необходимо выполнить двойной щелчок в поле графика или выбрать пункт меню Формат/График/Х-У Зависимость. После чего появится панель для изменения параметров графика.

В панели инструментов Графики имеются также два инструмента облегчающих анализ графика:



– Приближение, с помощью которого можно увеличить масштаб отображения и просмотреть требуемый фрагмент графика;



– Слежение, с помощью которого можно определить координаты точки на графике, указанной «мышью».

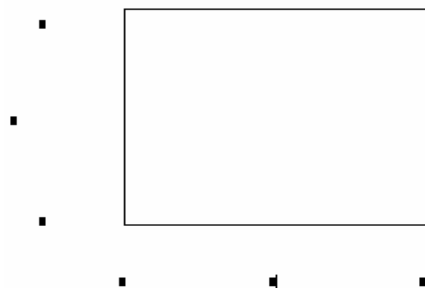
4.5.1. Построение графика функции в прямоугольных осях координат

Задача. Построить график функции $y = x^2 - 3$ в диапазоне $-2 \leq x \leq 2$ с шагом $\Delta x = 0.01$.

Решение:

$$y(x) := x^2 - 3$$

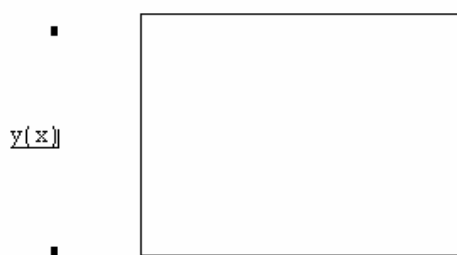
$$x := -2, -1.99 \dots 2$$



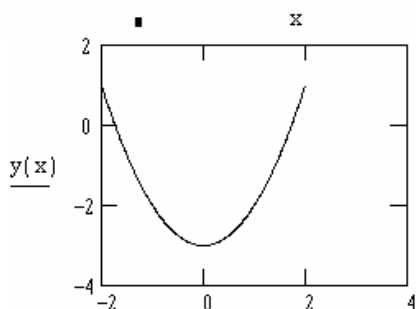
Задаем функцию, которую необходимо построить.

Определяем диапазон расчета и шаг расчета. Шаг расчета задается опосредованно, как разность между первым и вторым значениями в операторе диапазона. Оператор дискретного аргумента вызывается нажатием клавиши двоеточие в латинском регистре.

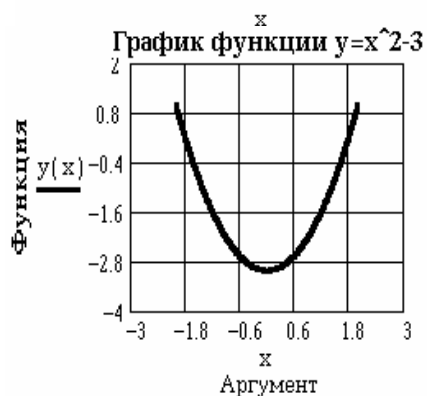
Строим заготовку графика (клавиша @).



Вводим в поля для ввода посредине осей имена аргумента – x и функции – $y(x)$.



«Проявляем» график. Выводим курсор за пределы графика и выполняем щелчок.



Выполняем форматирование графика. Для этого необходимо выполнить двойной щелчок в области графика, и в окне диалога изменить параметры графика.

4.5.2. Построение таблично заданной функции

Задача. Отобразить на графике таблично заданную функцию (табл. 4.4).

Таблица 4.4

x	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
y	0.5	0.8	1.6	1.8	1.7

Решение:

$$m := \begin{bmatrix} 0.1 & 0.5 \\ 0.2 & 0.8 \\ 0.3 & 1.6 \\ 0.4 & 1.8 \\ 0.5 & 1.7 \end{bmatrix}$$

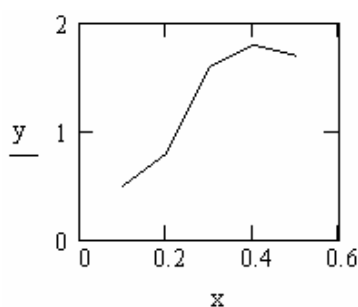
$$x := m^{<0>}$$

$$y := m^{<1>}$$

Определяем матрицу m , в первом столбце которой задаем значения аргумента x , а во втором значения функции y . Создание матрицы – Ctrl-m.

Извлекаем из матрицы m вектор аргумента. Верхний индекс – клавиши Ctrl-6.

Извлекаем из матрицы m вектор значений функции. Верхний индекс – клавиши Ctrl-6.



Строим график. Шаблон для построения графика – клавиша @.

4.6. Дискретный аргумент

Все повторяющиеся расчеты в MathCAD основаны на дискретных аргументах. Если не обращать внимания на способ определения, то дискретный аргумент выглядит как обычная переменная. Различие заключается в том, что обычная переменная принимает только одно значение, а дискретный аргумент принимает ряд значений, отделяемых одинаковыми шагами. Например, можно определить дискретный аргумент, чтобы пройти от -4 до 4 с шагом 2 . Если использовать теперь этот дискретный аргумент в выражении, MathCAD вычислит это выражение пять раз (один раз для каждого значения, принимаемого дискретным аргументом).

Для определения дискретного аргумента необходимо использовать оператор диапазона (клавиша точка с запятой в латинском регистре). Оператор диапазона можно записать двумя способами. В первом варианте записи приращение дискретного аргумента не задается (принимается равным 1 по умолчанию).

Например: $k:=1..10$.

Во втором варианте приращение задается как разность между вторым и первым значениями оператора диапазона.

Например: $k:=1,1.1..10$.

В последнем примере определяется дискретный аргумент, изменяющийся от 1 до 10 с шагом 0.1 . Вместо числовых значений в операторе диапазона можно использовать имена переменных, однако эти переменные должны быть определены до того, как будет задан дискретный аргумент.

Например:

$n1:=1$;

$n2:=2.3$;

$nk:=10$;

$k:=n1,n2..nk$.

При определении дискретного аргумента не допускается использование комплексных чисел, поскольку имеется бесконечное число путей, соединяющих два комплексных числа.

Дискретный аргумент можно считать аналогом переменной цикла в языках программирования высокого уровня, но в отличие от этих языков явная запись цикла при использовании дискретного аргумента не нужна. Расчет же все равно будет выполнен требуемое число раз, если в выражении присутствует переменная, являющаяся дискретным аргументом.

Особенность использования дискретного аргумента в выражениях заключается в том, что нельзя определять простую переменную (т. е. не вектор и не матрицу) через дискретный аргумент. Например, если определить k как дискретный аргумент и записать затем: $n:=k+1$, то MathCAD истолкует это как попытку приравнять скалярную переменную дискретному аргументу и отметит выражение сообщением об ошибке.

Дискретный аргумент удобно использовать при присвоении значений элементам матрицы или вектора, расчете таблиц значений функции и подобных повторяющихся расчетов.

Чтобы понимать, как MathCAD вычисляет при помощи дискретного аргумента, следует иметь в виду основной принцип: Если переменная, являющаяся дискретным аргументом, используется в выражении, MathCAD вычислит выражение один раз для каждого значения дискретного аргумента.

Этот принцип выражает различие между выражениями с дискретным аргументом и без него. Выражения, которые не содержат дискретный аргумент, имеют только одно значение. Выражения, содержащие дискретные аргументы, принимают много значений, которые соответствуют каждому значению дискретного аргумента. Если в выражении используется два и более дискретных аргумента, MathCAD вычисляет формулу один раз для каждого значения каждого дискретного аргумента.

Задача. Рассчитать таблицу значений функции $\sin(x)$ на интервале от 0 до $\pi/2$ с шагом $\pi/10$.

Решение:

$$x := 0, 0.1 \cdot \pi \dots \frac{\pi}{2}$$

$\sin(x)$

0
0.309
0.588
0.809
0.951
1

Задаем дискретный аргумент. Оператор диапазона – клавиша двоеточие. Встроенная константа π – комбинация: клавиша Ctrl-p.

Расчет значений таблицы. Содержимое таблицы выводится на экран после нажатия клавиши =.

4.7. Вычисления с матрицами

Одиночное число в MathCAD называется скаляром. Столбец чисел называется вектором, а прямоугольная Таблица чисел – матрицей. Общий термин для вектора или для матрицы – массив. Для создания массива необходимо использовать панель инструментов Матрицы или нажать комбинацию клавиш Ctrl-m и в появившемся окне диалога задать количество столбцов и строк. Для изменения размеров уже существующей матрицы необходимо обратиться к диалоговому окну создания матрицы, заключить элементы того столбца или строки, которые требуется удалить в выделяющий уголок, указать количество удаляемых или вставляемых строк и столбцов и нажать одну из клавиш Вставить или Удалить.

Задача. Удалить из матрицы размерностью 3×3 первый столбец.

Решение:

$$v := \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{pmatrix}$$

Создаем матрицу 3×3 (комбинация клавиш Ctrl-m).

$$v := \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{pmatrix}$$

Заключаем любой из элементов столбца, который нужно удалить в выделяющий уголок.

$$v := \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 5 & 6 \\ 8 & 9 \end{pmatrix}$$

Нажимаем клавишу Удалить в панели диалога и просматриваем результат.

Ограничение размера массива зависит от объема памяти компьютера. Для большинства систем это будет, по крайней мере, 1 миллион элементов. Размер массива никогда не может превышать 8 миллионов элементов.

Для обращения к элементам массива используются нижние индексы. Ввод нижнего индекса производится после нажатия клавиши [.

Задача. Присвоить третьему элементу вектора значение первого элемента, увеличенное в два раза.

Решение:

$$v := \begin{bmatrix} 1 \\ 2.3 \\ -7.8 \\ 44 \end{bmatrix}$$

Создаем вектор (комбинация клавиш Ctrl-m).

$$v_2 := v_0 \cdot 2$$

Изменяем значение третьего элемента.

$$v = \begin{bmatrix} 1 \\ 2.3 \\ 2 \\ 44 \end{bmatrix}$$

Просматриваем результат.

MathCAD имеет возможность обращаться также к отдельным столбцам матрицы. Для обращения к столбцу необходимо нажать комбинацию клавиш Ctrl-6 и поместить номер столбца в появившееся поле. Для обращения к строке матрицы можно использовать эту же методику, предварительно выполнив транспонирование матрицы.

Задача. Выделить в матрице 3×4 второй столбец и третью строку в виде отдельных векторов.

Решение:

$$a := \begin{pmatrix} 1 & 4 & 7 & 10 \\ 2 & 5 & 8 & 11 \\ 3 & 6 & 9 & 12 \end{pmatrix}$$

Создаем матрицу (комбинация клавиш Ctrl-m).

$$v := a^{<1>}$$

Присваиваем элементам вектора v значения элементов второго столбца матрицы a . Выбор столбца – комбинация клавиш Ctrl-6.

$$v = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix}$$

Просматриваем результат.

$$s := (a^T)^{<2>}$$

Присваиваем элементам вектора s значения элементов третьей строки a . Для этого предварительно выполняем транспонирование матрицы (комбинация клавиш Ctrl-1).

$$s = \begin{bmatrix} 3 \\ 6 \\ 9 \\ 12 \end{bmatrix}$$

Просматриваем результат.

Некоторые из операторов MathCAD имеют особые значения в применении к векторам и матрицам. Например, символ умножения означает просто умножение, когда применяется к двум числам, но он же означает скалярное произведение, когда применяется к векторам, и умножение матриц – когда применяется к матрицам. В таблице 4.5 приведены векторные и матричные операторы. Операторы, которые ожидают в качестве аргумента вектор, всегда ожидают вектор-столбец, а не вектор-строку.

Таблица 4.5

Операция	Обозначение	Клавиши	Описание
Умножение матрицы на скаляр	$A \cdot z$	*	Умножает каждый элемент A на скаляр z .
Скалярное произведение	$u \cdot v$	*	Возвращает скаляр $\sum u_i \cdot v_i$. Векторы должны иметь одинаковое число элементов.
Матричное умножение	$A \cdot B$	*	Возвращает произведение матриц A и B , число столбцов в A должно соответствовать числу строк в B .
Умножение матрицы на вектор	$A \cdot v$	*	Возвращает произведение матриц A и v , число столбцов в A должно соответствовать числу строк в v .
Деление	A/z	/	Делит каждый элемент массива на скаляр.
Сложение векторов и матриц	$A+B$	+	Складывает соответствующие элементы A и B , массивы A и B должны иметь одинаковое число строк и столбцов.
Скалярная сумма	$A+z$	+	Добавляет z к каждому элементу A .
Векторное и матричное вычитание	$A-B$	-	Вычитает соответствующие элементы массива A из элементов массива B , массивы A и B должны иметь одинаковые размеры.
Скалярное вычитание	$A-z$	-	Вычитает z из каждого элемента A .
Изменение знака	$-A$	-	Умножает все элементы A на -1 .
Степени матрицы, обращение матриц	M^n	^	n -ная степень квадратной матрицы M (использует умножение матриц). n должен быть целым числом. M^{-1} представляет матрицу, обратную к M , другие отрицательные степени – степени обратной матрицы. Возвращает матрицу.
Длина вектора	$ v $		Возвращает $\sqrt{v \cdot \bar{v}}$, где \bar{v} – вектор, комплексно сопряженный к v .
Детерминант	$ M $		Возвращает детерминант квадратной матрицы M , результат – скаляр.
Транспонирование	A^T	Ctrl-1	Возвращает матрицу, чьи строки – столбцы A , и чьи столбцы – строки A . A может быть вектором или матрицей.
Векторное про-	$u \times v$	Ctrl-8	Возвращает векторное произведение для

Операция	Обозначение	Клавиши	Описание
извлечение			векторов с тремя элементами u и v .
Комплексное сопряжение	\overline{A}	“	Меняет знак мнимой части каждого элемента A .
Суммирование элементов	Σv	Ctrl-4	Суммирует элементы вектора v ; возвращает скаляр.
Векторизация	\vec{A}	Ctrl-минус	Предписывает в выражении с A производить операции поэлементно.
Верхний индекс	$A^{<n>}$		Извлекает n -ный столбец массива A . Возвращает вектор.
Нижний индекс вектора	v_n	[n -ный элемент вектора.
Нижние индексы матрицы	$A_{m,n}$	[Элемент матрицы, находящийся в m -ном ряду и n -ной строке

4.8. Параллельные вычисления

Любое вычисление, которое может выполнять MathCAD с одиночными значениями, он также может выполнять с векторами или с матрицами. Есть два способа сделать это:

- последовательно выполняя вычисления над каждым элементом с использованием дискретного аргумента;
- использовать оператор векторизации.

Оператор векторизации предписывает MathCAD выполнить одну и ту же операцию над каждым элементом вектора или матрицы. Математическая запись часто указывает на многократность вычислений, используя нижние индексы. Вот как определяется матрица, получаемая поэлементным перемножением двух матриц:

$$P_{i,j} := M_{i,j} \cdot N_{j,i}.$$

Эту же операцию можно выполнить, используя оператор векторизации:

$$P := \overrightarrow{(M \cdot N)}.$$

Для применения оператора векторизации необходимо заключить требуемое выражение в выделяющий уголок и нажать комбинацию клавиш Ctrl–минус. MathCAD поместит стрелку сверху выделенного выражения.

Оператор векторизации изменяет смысл выражения. Оператор векторизации предписывает MathCAD применять операторы и функции в их скалярном значении к каждому элементу массива поочередно. Ниже приводятся некоторые примеры того, как оператор векторизации изменяет смысл выражений, содержащих векторы и матрицы:

Если v – матрица, то $\sin(v)$ – недопустимое выражение. Но если используется векторизация, MathCAD вычислит синус каждого элемента матрицы v и поместит результат в новую матрицу, чьи элементы – синусы элементов v .

Если M – матрица, то \sqrt{M} – недопустимое выражение. Но если используется векторизация, MathCAD вычислит квадратный корень каждого элемента матрицы M и поместит результат в новую матрицу.

Если v и w – матрицы, то $v \cdot w$ означает скалярное произведение v и w . Но если используется векторизация, MathCAD вычислит поэлементное умножение матриц v и w .

Эти свойства оператора векторизации позволяют использовать скалярные операции и функции с массивами.

Задача. Выполнить поэлементное извлечение квадратного корня из матрицы.

Решение:

$$a := \begin{pmatrix} 4 & 25 \\ 9 & 36 \\ 16 & 49 \end{pmatrix} \quad \text{Создаем матрицу (комбинация клавиш Ctrl-m).}$$

$$b := \sqrt{a} \quad \begin{array}{l} \text{Выполняем извлечение квадратного корня из матрицы } a \text{ с помощью} \\ \text{оператора векторизации. Извлечение квадратного корня – клавиша } \backslash, \\ \text{оператор векторизации – Ctrl-минус.} \end{array}$$

$$b = \begin{pmatrix} 2 & 5 \\ 3 & 6 \\ 4 & 7 \end{pmatrix} \quad \text{Просматриваем результат.}$$

Примечание. При выполнении вычислений над вектором (матрицей-столбцом) оператор векторизации можно не ставить. Вычисления все равно будут выполнены для каждого элемента вектора.

4.9. Интерполяция данных

Интерполяция используется для определения значений в произвольных точках таблично заданной функции. В MathCAD можно или соединять точки прямыми (линейная интерполяция) или соединять их отрезками кубического полинома (кубическая сплайн-интерполяция).

4.9.1. Линейная интерполяция

Линейная интерполяция выполняется с помощью функции $\text{linterp}(vx, vy, x)$. Данная функция использует векторы данных vx и vy , чтобы вычислить значение y , соответствующее аргументу x . Векторы vx и vy должны быть векторами одинаковой длины. Вектор vx должен содержать вещественные значения, расположенные в порядке возрастания. Эта функция соединяет точки данных отрезками

прямых, создавая ломаную. Интерполируемое значение для конкретного x есть таким образом ордината y соответствующей точки ломаной.

Задача. Выполнить линейную интерполяцию табличной функции и рассчитать ее значения в промежуточной точке. Построить график интерполированной функции.

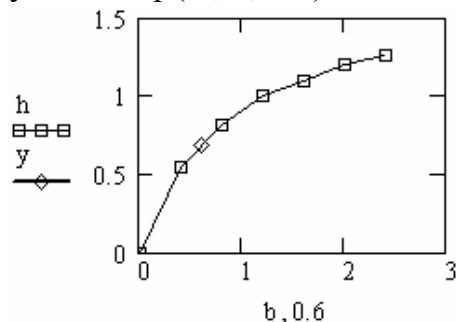
Решение:

$$b := \begin{bmatrix} 0 \\ 0.4 \\ 0.8 \\ 1.2 \\ 1.6 \\ 2.0 \\ 2.4 \end{bmatrix} \quad h := \begin{bmatrix} 0 \\ 0.55 \\ 0.82 \\ 1 \\ 1.1 \\ 1.2 \\ 1.26 \end{bmatrix}$$

Задаем векторы аргумента и значений функции (создание вектора – комбинация клавиш Ctrl-m).

$$y := \text{interp}(b, h, 0.6)$$

Рассчитываем значения функции в точке $x = 0.6$.



Строим график функции. Создание заготовки для графика – клавиша @.

4.9.2. Сплайн интерполяция

Кубическая сплайн-интерполяция позволяет провести кривую через набор точек таким образом, что первые и вторые производные кривой были непрерывны в каждой точке. Эта кривая образуется путем создания ряда кубических полиномов, проходящих через наборы трех смежных точек. Кубические полиномы затем состыковываются друг с другом, чтобы образовать одну кривую. Для интерполяции сплайном необходимо сначала с помощью одной из функций $\text{cspline}(vx,vy)$, $\text{pspline}(vx,vy)$ или $\text{lspline}(vx,vy)$ вычислить вектор коэффициентов сплайна vs , а затем с помощью функции $\text{interp}(vs,vx,vy,x)$ найти значение функции в точке x . Векторы vx и vy – это векторы аргумента и значений интерполируемой функции. Функции cspline , pspline и lspline отличаются способом интерполяции в точках близких к граничным. Функция cspline генерирует кривую, которая может быть кубическим полиномом в граничных точках. Функция pspline генерирует кривую, которая может быть параболой в граничных точках. Функция lspline генерирует кривую, которая приближается к прямой в граничных точках.

Задача. Выполнить кубическую сплайн-интерполяцию табличной функции. В граничных точках функцию считать прямолинейной. Построить график интерполирующей функции.

Решение:

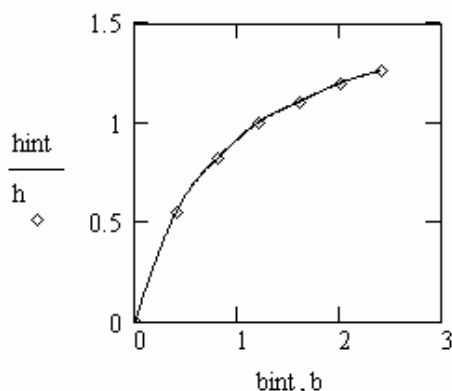
$$b := \begin{bmatrix} 0 \\ 0.4 \\ 0.8 \\ 1.2 \\ 1.6 \\ 2.0 \\ 2.4 \end{bmatrix} \quad h := \begin{bmatrix} 0 \\ 0.55 \\ 0.82 \\ 1 \\ 1.1 \\ 1.2 \\ 1.26 \end{bmatrix}$$

$$vs := lspline(b, h)$$

$$m := 0..240$$

$$bint_m := m \cdot 0.01$$

$$hint := \overrightarrow{\text{interp}(vs, b, h, bint)}$$



Задаем векторы аргумента и значений функции (создание вектора – комбинация клавиш Ctrl-m).

Рассчитываем вектор коэффициентов сплайна.

Задаем дискретный аргумент для расчета интерполирующей функции. Оператор диапазона вызывается нажатием клавиши двоеточие в латинском регистре.

Рассчитываем вектор аргумента интерполирующей функции.

Рассчитываем вектор значений интерполирующей функции. Оператор векторизации – Ctrl-минус.

Строим график функции. Создание заготовки для графика – клавиша @.

4.10. Сглаживание функций

Задача сглаживания таблично заданных функций часто возникает при обработке экспериментальных данных, поскольку при проведении эксперимента возможны разного рода погрешности, влияние не учитываемых факторов и т. п. Для сглаживания данных в MathCAD есть несколько функций, использующих разные алгоритмы. Одна из них – $ksmooth(vx, vy, b)$ возвращает n -мерный вектор сглаженных значений вектора vy , вычисленных на основе распределения Гаусса. vx и vy – n -мерные векторы действительных чисел. Полоса пропускания b управляет степенью сглаживания.

Задача. Выполнить сглаживание таблично заданной функции (табл. 4.6) и построить графики.

Таблица 4. 6

x	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
y	0.5	0.8	1.6	1.8	1.7

Решение:

$$x := \begin{bmatrix} .1 \\ .2 \\ .3 \\ .4 \\ .5 \end{bmatrix} \quad y := \begin{bmatrix} .5 \\ .8 \\ 1.6 \\ 1.8 \\ 1.7 \end{bmatrix}$$

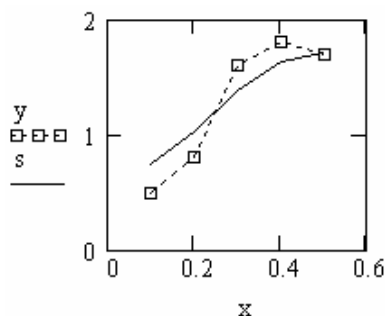
Задаем векторы x и y (создание вектора – комбинация клавиш Ctrl-m).

$$b := 0.3$$

Задаем параметр, определяющий степень сглаживания. Изменяя b , необходимо добиться требуемой гладкости графика.

$$s := \text{ksmooth}(x, y, b)$$

Вычисляем сглаженные значения вектора y .
Результат помещается в вектор s .



Строим график. Шаблон для построения графика – клавиша @.

4.11. Регрессионный анализ

MathCAD включает ряд функций для вычисления регрессии. Обычно эти функции создают кривую определенного типа, которая в некотором смысле минимизирует ошибку между собой и имеющимися данными. Функции отличаются типом кривой, которую они используют, чтобы аппроксимировать данные. В отличие от функций интерполяции эти функции не требуют, чтобы аппроксимирующая кривая проходила через точки данных. Функции регрессии, следовательно, гораздо менее чувствительны к ошибкам данных, чем функции интерполяции. В отличие от функций сглаживания конечный результат регрессии – функция, с помощью которой можно оценить значения в промежутках между заданными функциями.

4.11.1. Линейная регрессия

Для выполнения линейной регрессии MathCAD имеет две функции. Эти функции вычисляют наклон и смещение прямой линии, которая наилучшим образом приближает данные в смысле наименьших квадратов. Первая из них – $\text{slope}(vx,vy)$ возвращает наклон линии, а вторая – $\text{intercept}(vx,vy)$ рассчитывает смещение по оси ординат линии регрессии. Векторы vx и vy – это векторы аргумента и значений исходного набора данных.

Уравнение линии регрессии можно записать в следующем виде:

$$y = c x + d,$$

где $c = \text{slope}(vx,vy) \cdot x$,

$d = \text{intercept}(vx,vy)$.

Задача. Вычислить линейную регрессию для таблично заданной функции.

Решение:

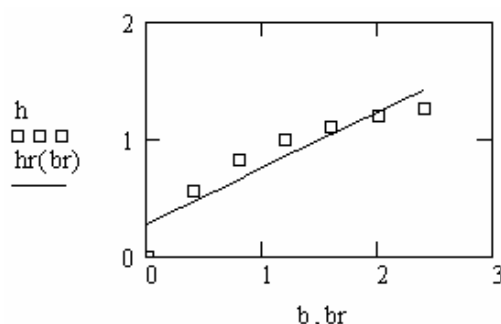
$$b := \begin{bmatrix} .1 \\ .2 \\ .3 \\ .4 \\ .5 \end{bmatrix} \quad h := \begin{bmatrix} .5 \\ .8 \\ 1.6 \\ 1.8 \\ 1.7 \end{bmatrix}$$

$$c := \text{slope}(b, h)$$

$$d := \text{intercept}(b, h)$$

$$br := 0, 0.1 \dots 2.4$$

$$hr(br) := c \cdot br + d$$



Задаем векторы b и h (создание вектора – комбинация клавиш Ctrl-m).

Вычисляем коэффициенты линейной регрессии.

Определяем диапазон изменения аргумента для расчета и построения линии регрессии. Оператор дискретного аргумента вызывается нажатием клавиши двоеточие в латинском регистре.

Определяем функцию регрессии.

Строим график. Шаблон для построения графика – клавиша @.

4.11.2. Полиномиальная регрессия

В случае, если между исходными данными ожидается полиномиальная зависимость, удобно использовать функцию $\text{regress}(vx,vy,p)$ для определения коэффициентов аппроксимирующих полиномов. Функция создает набор коэффициентов полиномов vs для разных участков кривой. Параметры функции vx и vy – это векторы аргумента и значений исходного набора данных. Параметр p

(целое число) задает порядок аппроксимирующего полинома. Порядок аппроксимирующего полинома не должен превышать $n - 1$, где n – число точек исходной табличной функции. Для расчета значений аппроксимирующей функции в требуемой точке x используется функция $\text{interp}(vs, vx, vy, x)$.

Задача. Вычислить полиномиальную регрессию для таблично заданной функции.

Решение:

$n := 5$

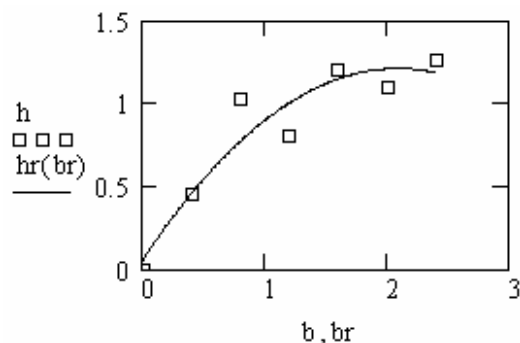
$b := \begin{bmatrix} .1 \\ .2 \\ .3 \\ .4 \\ .5 \end{bmatrix} \quad h := \begin{bmatrix} .5 \\ .8 \\ 1.6 \\ 1.8 \\ 1.7 \end{bmatrix}$

$p := 2$

$vs := \text{regress}(b, h, p)$

$br := 0, 0.1 \dots 2.4$

$hr(br) := \text{interp}(vs, b, h, br)$



Задаем количество точек.

Задаем векторы b и h (создание вектора – комбинация клавиш Ctrl-m).

Задаем порядок аппроксимирующего полинома.

Вычисляем коэффициенты полиномиальной регрессии.

Определяем диапазон изменения аргумента для расчета и для построения линии регрессии. Оператор дискретного аргумента вызывается нажатием клавиши двоеточие в латинском регистре.

Определяем функцию регрессии.

Строим график. Шаблон для построения графика – клавиша @.

4.12. Решение уравнения с одной неизвестной

Для решения одного уравнения (линейного или нелинейного) с одним неизвестным используется функция $\text{root}(f(z), z)$. Первый аргумент этой функции есть либо функция, определенная где-либо в рабочем документе, либо выражение. Второй аргумент – имя переменной, которое используется в выражении. Это та переменная, варьируя которую, MathCAD будет пытаться обратить выражение в ноль. Этой переменной перед использованием функции root необходимо присвоить числовое значение. MathCAD использует его как начальное приближение при поиске корня. Если уравнение имеет несколько корней, то для

поиска каждого нового корня требуется задавать новое приближение. Для поиска комплексных корней следует задавать комплексное начальное приближение. Иногда алгоритм поиска корня натывается на локальный минимум функции, при этом появляется сообщение «отсутствует сходимость». В таком случае следует попробовать другое начальное приближение. Удобно также построить график искомой функции, чтобы предварительно оценить количество и значения корней.

Задача. Найти корни уравнения $e^x = x^3$.

Решение:

$x := 2$

Задаем начальное приближение к корню.

$f(x) := x^3 - e^x$

Определяем функцию, которая должна быть обращена в ноль. Для этого переписываем исходное уравнение в виде: $x^3 - e^x = 0$. Левая часть этого выражения и есть искомая функция.

$\text{soln} := \text{root}(f(x), x)$

Находим корень уравнения.

$\text{soln} = 1.857$

4.13. Решение системы линейных уравнений

Для решения системы линейных уравнений используется функция $\text{lsolve}(M, v)$. Первый аргумент этой функции есть квадратная матрица коэффициентов системы уравнений. Второй – вектор (матрица-столбец) правых частей системы уравнений. Матрица коэффициентов не может быть ни вырожденной, ни почти вырожденной. Матрица является вырожденной, если ее определитель равен нулю. Матрица почти вырождена, если у нее большое число обусловленности. Для определения числа обусловленности можно использовать специальные функции (см. приложение).

Задача. Решить систему линейных уравнений:

$$3x + 6y = 9$$

$$2x + 0.54y = 4$$

Решение:

$m := \begin{pmatrix} 3 & 6 \\ 2 & 0.54 \end{pmatrix}$

Задаем матрицу коэффициентов системы уравнений.

$v := \begin{pmatrix} 9 \\ 4 \end{pmatrix}$

Задаем вектор правых частей системы уравнений.

$c := \text{cond1}(m)$

$c = 5.671$

Находим число обусловленности матрицы коэффициентов и распечатываем его значение.

$\text{soln} := \text{lsolve}(m, v)$

Находим решение системы уравнений.

$\text{soln} = \begin{pmatrix} 1.844 \\ 0.578 \end{pmatrix}$

Систему линейных уравнений можно решить также, используя математические операции с матрицами. Решение для предыдущей задачи может быть найдено следующим образом:

$$\text{soln} := \mathbf{m}^{-1} \cdot \mathbf{v}$$

При этом следует иметь в виду, что решение, найденное с помощью функции *lsolve*, будет более точным.

4.14. Решение системы нелинейных уравнений

MathCAD дает возможность решать системы нелинейных уравнений. Максимальное число уравнений и переменных равно пятидесяти. Результатом решения будут численные значения корней. Для решения нелинейной системы уравнений необходимо с помощью ключевого слова *Given* открыть блок уравнений, записать систему уравнений, которую необходимо решить, и с помощью функции *Find* найти искомое решение. Предварительно необходимо задать начальные значения корней.

Функция *Find(z1,z2,z3,...)* находит решение системы уравнений. Число аргументов может быть не равно числу неизвестных. Блок уравнений может включать в себя кроме уравнений также неравенства [1]. Если система уравнений имеет несколько решений, то для нахождения других решений необходимо использовать новые начальные приближения либо дополнить систему уравнений неравенствами.

Задача. Решить систему нелинейных уравнений:

$$x^2 + y^2 = 6$$

$$x + y = 2.$$

Решение:

$$x := 1$$

Задаем начальное приближение решения системы.

$$y := 1$$

Given

Открываем блок уравнений.

$$x^2 + y^2 = 6$$

$$x + y = 2$$

Записываем уравнения.

Внимание: для записи уравнений внутри блока решения уравнений необходимо использовать знак логического равенства (вводится нажатием клавиш *Ctrl=* или с помощью панели инструментов).

$$\text{soln} := \text{Find}(x, y)$$

Находим решение системы уравнений с помощью функции *Find*.

$$\text{soln} = \begin{pmatrix} 2.414 \\ -0.414 \end{pmatrix}$$

Если в результате решения уравнений выводится сообщение «*решение не найдено*», это может свидетельствовать о следующем:

- поставленная задача не имеет решения;
- достигнута точка, из которой не может быть получено более точное приближение к решению;
- достигнут предел точности вычислений. Это часто встречается, если установлено значение встроенной переменной TOL меньше, чем 10^{-15} ;
- для уравнения, не имеющего действительного решения, в качестве начального приближения использовано действительное число.

В указанных случаях рекомендуется повторить вычисления с другими начальными приближениями и (или) с другим значением переменной TOL. Полезно также построить те или иные графики, связанные с системой уравнений, анализ которых позволит определить начальное приближение к решению. Можно также использовать функцию $\text{Minerr}(z1, z2, z3 \dots)$, возвращающую наилучшее приближение к решению [1].

MathCAD позволяет также решать уравнения, представленные в матричной форме.

Задача. Решить нелинейное матричное уравнение:

$$X^2 + 2 \cdot X + 1 = M,$$

где $M := \begin{pmatrix} 13 & 4 & 4 \\ 4 & 9 & -3 \\ 4 & -3 & 57 \end{pmatrix}$.

Решение:

$$M := \begin{pmatrix} 13 & 4 & 4 \\ 4 & 9 & -3 \\ 4 & -3 & 57 \end{pmatrix}$$

Задаем правую часть уравнения.

$$X := M$$

Задаем начальное приближение решения системы.

Given

Открываем блок уравнений.

Записываем уравнение.

$$X^2 + 2 \cdot X + 1 = M$$

Для записи уравнений внутри блока решения уравнений необходимо использовать знак логического равенства (вводится нажатием клавиш Ctrl+= или с помощью панели инструментов).

$$S := \text{Find}(X)$$

Находим решение системы уравнений с помощью функции Find.

MathCAD позволяет изменять численный метод решения систем нелинейных уравнений. Для этого необходимо нажать правую клавишу «мыши», указав на функцию Find и, в появившемся контекстном меню, выбрать метод расчета.

4.15. Решение дифференциального уравнения первого порядка

Дифференциальное уравнение первого порядка – это уравнение, которое не содержит производных выше первого порядка от неизвестной функции. Для решения дифференциальных уравнений в пакете MathCAD есть несколько специальных функций. Одна из них `rkfixed(y0,t0,tk,npoints,D)` использует метод Рунге-Кутты с постоянным шагом для нахождения решения. Параметрами функции являются следующие величины:

$y0$ – вектор начальных условий размерности n , где n – порядок дифференциального уравнения или число уравнений в системе (если решается система уравнений). Для дифференциального уравнения первого порядка вектор начальных значений вырождается в одну точку $y0 = y(t0)$;

$t0,tk$ – граничные точки интервала, для которого находится решение (начальное условие заданное переменной y – это значение решения в точке $t0$);

$npoints$ – число точек (не считая начальной точки), в которых отыскивается приближенное решение;

$D(x,y)$ – векторная функция, задающая значение производных неизвестных функций (если решается система уравнений). Для дифференциального уравнения первого порядка векторная функция вырождается в обыкновенную.

Функция `rkfixed` возвращает решение в виде матрицы, первый столбец которой содержит значения независимой переменной, а второй – значения решения.

Задача. Рассчитать переходный процесс для цепи, показанной на рис. 4.1, при подключении к источнику постоянного напряжения 100 В.

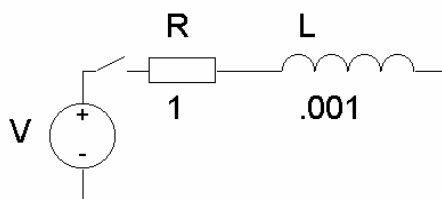


Рис.4. 1 Электрическая цепь, описываемая дифференциальным уравнением первого порядка

Предварительно составляем дифференциальное уравнение, описывающее электрическую цепь:

$$u = L \frac{di}{dt} + R \cdot i .$$

Находим из данного уравнения производную тока:

$$\frac{di}{dt} = (u - R \cdot i) / L.$$

Вводим машинную переменную:

$$i \rightarrow x.$$

В итоге уравнение примет вид:

$$\frac{dx}{dt} = (u - R \cdot x) / L.$$

Решение:

$$u := 100$$

$$R := 1$$

$$L := 0.001$$

$$y0 := 0$$

$$D(t, x) := \frac{u - R \cdot x}{L}$$

$$t0 := 0$$

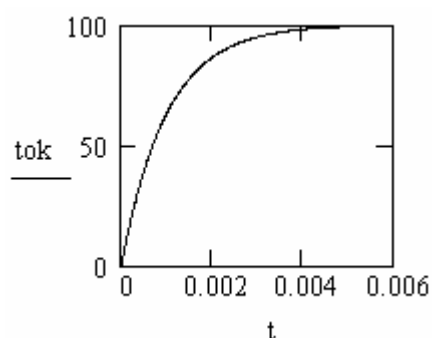
$$tk := 0.01$$

$$n := 500$$

$$y := \text{rkfixed}(y0, t0, tk, n, D)$$

$$t := y^{<0>}$$

$$tok := y^{<1>}$$



Задаем параметры цепи.

Задаем начальные значения решения (значение тока в цепи в момент замыкания).

Задаем функцию, определяющую производную

Задаем начальную и конечную точки расчета по времени.

Задаем число точек расчета.

Находим решение уравнения.

Выделяем в решении вектор независимой переменной (времени). Верхний индекс – клавиши Ctrl-6.

Выделяем в решении вектор искомой переменной (тока).

Верхний индекс – клавиши Ctrl-6.

Строим график. Шаблон для построения графика – клавиша @.

Параметром, влияющим на устойчивость и точность решения дифференциального уравнения, является шаг расчета. При этом чем меньше шаг, тем выше точность расчета. В функции rkfixed шаг расчета задается опосредованно через количество точек расчета (чем больше точек расчета, тем меньше шаг). На практике, как правило, требуется провести несколько расчетов, увеличивая или уменьшая шаг расчета, отслеживая результаты. Окончательно следует выбрать такой шаг расчета, при увеличении которого в два раза не наблюдаются расхождения в результатах.

MathCAD дает возможность также решить обыкновенное линейное дифференциальное уравнение с помощью блока *Given ... Odesolve()*. Внутри этого блока записываются дифференциальные уравнения в естественном математическом виде, а также начальные условия. Решением дифференциального уравнения является интерполирующая численный результат функция.

4.16. Решение систем дифференциальных уравнений

Решение системы дифференциальных уравнений первого порядка производится по методике, аналогичной изложенной выше. Отличия заключаются в том, что начальные условия для решения задаются в виде вектора, а также функция $D(x,y)$, задающая значение производных неизвестных функций, является векторной функцией. Функция *rkfixed* возвращает матрицу решений, в первом столбце которой содержится независимая переменная, а в последующих – решения системы дифференциальных уравнений.

Задача. Рассчитать переходный процесс для цепи, показанной на Рис. 4.2, при подключении к источнику постоянного напряжения 100 В.

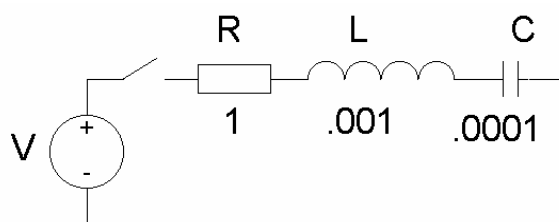


Рис. 4.2. Электрическая цепь, описываемая системой дифференциальных уравнений первого порядка

Предварительно составляем систему дифференциальных уравнений, описывающую электрическую цепь:

$$u = L \frac{di}{dt} + R \cdot i + u_c,$$

$$i = c \frac{du_c}{dt}.$$

Записываем данную систему уравнений в явной форме:

$$\frac{di}{dt} = (u - R \cdot i - u_c) / L,$$

$$\frac{du_c}{dt} = \frac{1}{c} i.$$

Вводим машинные переменные:

$$i \rightarrow x_0,$$

$$u_c \rightarrow x_1.$$

В итоге система уравнений примет вид:

$$\frac{dx_0}{dt} = (u - R \cdot x_0 - x_1) / L,$$

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{C} \cdot x_0.$$

Решение:

$u := 100$

$R := 1$

$L := 0.001$

$C := 0.0001$

$$D(t, x) := \begin{bmatrix} \frac{u - x_0 \cdot R - x_1}{L} \\ \frac{1}{C} \cdot x_0 \end{bmatrix}$$

$$y0 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$t0 := 0$

$tk := 0.01$

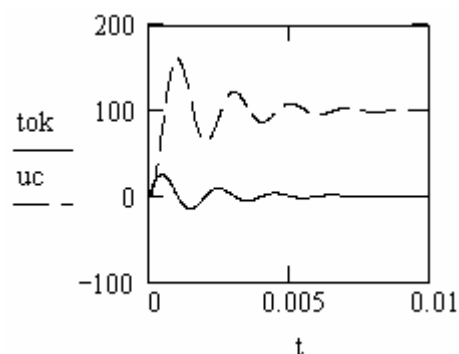
$n := 500$

$y := \text{rkfixed}(y0, t0, tk, n, D)$

$t := y^{<0>}$

$tok := y^{<1>}$

$u_c := y^{<2>}$



Задаем параметры цепи.

Задаем векторную функцию, определяющую производные системы.

Задаем начальные значения.

Задаем начальную и конечную точки расчета по времени.

Задаем число точек расчета.

Находим решение уравнения.

Выделяем в решении вектор независимой переменной (времени). Верхний индекс – клавиши Ctrl-6.

Выделяем в решении ток. Верхний индекс – клавиши Ctrl-6.

Выделяем в решении напряжение на конденсаторе. Верхний индекс – клавиши Ctrl-6.

Строим график. Шаблон для построения графика – клавиша @.

4.17. Комплексные числа и вычисления с ними

Для ввода мнимого числа необходимо вслед за его действительной частью ввести символ мнимой единицы i или j , например $1i$ или $5.25j$. Нельзя использовать i или j сами по себе для обозначения мнимой единицы. Следует обязатель-

но печатать $1i$ или $1j$, в противном случае MathCAD воспримет напечатанное как имя переменной i или j . Когда курсор покидает выражение, содержащее i или j , MathCAD скрывает избыточную единицу. Для того чтобы изменить изображение мнимой единицы с i на j охватите с помощью выделяющего уголка мнимую единицу, выберите вкладку Параметры отображения в меню Формат/Результат... и измените в открывшейся панели тип представления мнимой единицы. Для комплексных чисел в MathCAD предусмотрены специальные операции:

- $Re(z)$ – вычисление действительной части комплексного числа z ;
- $Im(z)$ – вычисление мнимой части комплексного числа z ;
- $|z|$ – вычисление модуля комплексного числа z , чтобы записать модуль от выражения, нужно заключить его в выделяющий уголок и нажать клавишу с вертикальной чертой $|$;
- $arg(z)$ – вычисление угла между действительной частью комплексного числа z и вещественной осью. Возвращает результат между $-\pi$ и π радиан;
- \bar{z} – вычисление числа комплексно-сопряженного к z . Чтобы применить к выражению оператор сопряжения, необходимо выражение заключить в выделяющий уголок и нажать клавишу двойные кавычки (") в латинском регистре.

При использовании в комплексной области многие функции, о которых привычно думать как о возвращающих одно значение, становятся многозначными. Общее правило состоит в том, что для многозначной функции MathCAD возвращает главное значение, т. е. значение, составляющее минимальный угол на комплексной плоскости между числом и действительной осью. Например, при вычислении $(-1)^{1/3}$ MathCAD выдаст $0.5 + 0.866j$, хотя считается, что кубический корень из -1 есть -1 . Дело в том, что извлечение кубического корня из -1 дает три ответа ($0.5 + 0.866j$, -1 и $0.5 - 0.866j$), но значение $0.5 + 0.866j$ составляет с положительным направлением действительной оси угол только в 60° , в то время как два остальных значения составляют углы в 180° и 300° соответственно.

Задача. Рассчитать и построить логарифмическую амплитудную частотную характеристику, соответствующую передаточной функции:

$$W(p) = \frac{1}{p^2 + 0.2p + 1}.$$

Решение:

$$k := 1 \dots 1000$$

$$\omega_k := k \cdot 0.01$$

$$p := (\omega \cdot j)$$

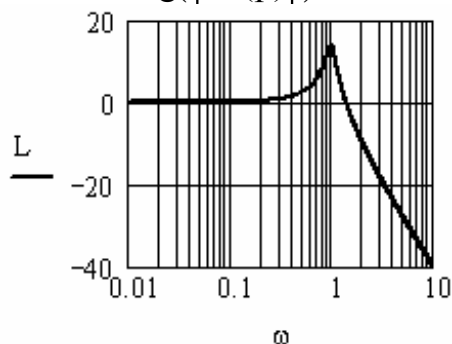
Определяем дискретный аргумент для расчета частотной характеристики.

Определяем вектор частот для расчета и построения ЛАЧХ.

Рассчитываем вектор значений оператора Лапласа.

$$W(p) := \frac{1}{p^2 + 0.2 \cdot p + 1}$$

$$L := 20 \cdot \log(|W(p)|)$$



Задаем функцию для расчета частотной характеристики.

Рассчитываем ЛАЧХ.

Строим график.

5. Программирование

Программа¹ MathCAD есть частный случай выражения MathCAD. Подобно любому выражению, программа возвращает значение, если за ней следует знак равенства. Точно так же, как переменную или функцию можно определить через выражение, их можно определить и с помощью программы.

Главным различием между программой и выражением является способ задания вычислений. При использовании выражения алгоритм получения ответа должен быть описан одним оператором. В программе же может быть использовано столько операторов, сколько нужно. Можно рассматривать программу как «составное выражение».

Алгоритмические конструкции и составные операторы в среде MathCAD вводятся не традиционным набором ключевых слов типа *IF*, *THEN*, *ELSE*, *WHILE* и т. п. через клавиатуру, а нажатием одной из 10 кнопок панели программирования:

Add Line	←
if	otherwise
for	While
break	continue
return	on error

5.1. Кнопка Add Line

Add Line – добавить строку программы, тела цикла, плеча альтернативы и т. п. Этим действием в программу добавляется новая строка, в которой можно записать выражение или одну из алгоритмических конструкций. Для добавления новой строки необходимо заключить выражение, после которого требуется

¹ Термин «программа» несколько непривычно используется в при описании пакета MathCAD. Более привычным было бы использование терминов «подпрограмма», «функция» или «составной оператор».


вставить новую строку в выделяющий уголок и нажать кнопку Add Line панели программирования. Удаление строки производится с помощью клавиши Delete на клавиатуре.


5.2. Оператор локального присваивания

\leftarrow – символ *локального* присваивания. Этот символ используется вместо символа $:=$ в программах MathCAD. Его использование означает, что переменная стоящая слева от символа \leftarrow является *локальной* переменной, т. е. доступна только в данной программе, а вне нее не существует. В случае же использования символа $:=$, переменная стоящая слева от этого знака будет являться *глобальной* переменной, т. е. доступной как в документе MathCAD, так и в любой программе.

Задача. Составить функцию, вычисляющую логарифм числа по произвольному основанию.

Решение:

$\text{loga}(x, a) :=$ 

$\text{loga}(x, a) :=$ 

$\text{loga}(1000, 10) = 3$

$w =$

$z =$

$y =$

Назовем функцию loga . Ее параметры: x – число, логарифм которого требуется найти, a – основание логарифма. После ввода символа присваивания необходимо нажать кнопку Add Line панели программирования. Появится черная вертикальная линия с полями для ввода.

Локальной переменной w присваиваем значение $\ln(x)$.

Локальной переменной z присваиваем значение $\ln(a)$.

Локальной переменной y присваиваем значение w/z .

В последней строке указываем имя переменной, значение которой должна возвращать функция.

Для добавления новой строки в теле функции необходимо нажать кнопку Add Line панели программирования.

Пример использования функции – расчет логарифма числа 1000 по основанию 10.

Проверка доступности локальных переменных функции вне пределов этой функции.

Переменные не определены.

5.3. Условные операторы

5.3.1. Условный оператор *if*

if – ключевое слово, задающее альтернативу с одним плечом. Обычно MathCAD выполняет операторы программы в порядке сверху вниз. Однако могут встретиться случаи, в которых какой-нибудь оператор нужно выполнить только в случае выполнения некоего условия. Этого можно добиться с помощью оператора *if*.

В общем виде оператор *if* записывается следующим образом:

Выражение if Условие.

Выражение вычисляется, только если *Условие* истинно. В противном случае выполняется следующий оператор.

Задача. Составить функцию, вычисляющую модуль действительного числа.

Примечание. В пакете MathCAD имеется специальный оператор для вычисления модуля. Данная задача рассматривается здесь исключительно с целью иллюстрации работы оператора *if*.

Решение:

$$\text{mod}(x) := \begin{cases} \text{if} \end{cases}$$

$$\text{mod}(x) := \begin{cases} x \leftarrow -x & \text{if } x < 0 \\ x \end{cases}$$

$$\text{mod}(-10.5) = 10.5$$

$$\text{mod}(4.7) = 4.7$$

Для ввода в функцию альтернативы необходимо нажать кнопку *if* панели программирования. Появится ключевое слово *if* и поля для ввода справа и слева от него. Правое поле ввода предназначено для условного выражения. Левое поле ввода предназначено для значения, которое будет иметь выражение, если условное выражение в правом поле истинно.

Справа от ключевого слова *if* записываем условное выражение, а слева выражение, которое должно выполняться при соблюдении данного условия.

Примеры использования функции.

5.3.2. Условный оператор otherwise

otherwise – ключевое слово позволяющее превратить неполную альтернативу в полную. В общем виде оператор *if* записывается следующим образом:

Выражение otherwise.

Выражение вычисляется, если *Условие*, стоящее в операторе *if* ложно.

Задача. Составить функцию, задаваемую разными аналитическими выражениями на разных участках области определения:

$$y = \begin{cases} x^2 - 4, & -\infty < x \leq 2 \\ 0, & 2 < x < \infty \end{cases}$$

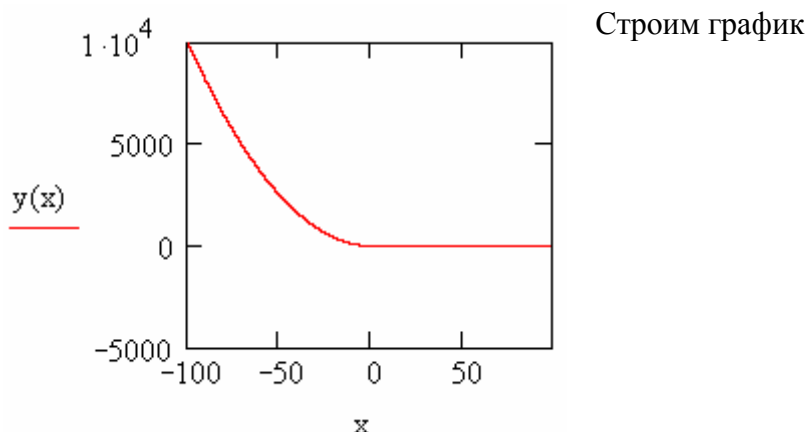
Решение:

$$y(x) := \begin{cases} z \leftarrow x^2 - 4 & \text{if } -\infty < x \leq 2 \\ z \leftarrow 0 & \text{otherwise} \\ z \end{cases}$$

$$x := -100, -99.99 \dots 100$$

Задаем функцию. Для ввода ключевых слов *if* и *otherwise* необходимо нажать соответствующие кнопки в панели программирования. Символ ∞ – клавиши Ctrl-z. Знак \leq – клавиши Ctrl-9.

Задаем диапазон изменения и шаг по x с помощью оператора дискретного аргумента.



5.4. Циклы

Одним из величайших преимуществ программирования является возможность многократного выполнения некоторой последовательности операторов в цикле. MathCAD предлагает два вида циклов, отличающихся по способу определения условия завершения цикла:

- если заранее точно известно необходимое число выполнений цикла, то целесообразно использовать цикл типа *for*;
- если цикл должен завершиться по выполнении некоторого условия, причем момент выполнения этого условия заранее не известен, то целесообразно использовать цикл типа *while*.

5.4.1. Цикл *while*

Цикл типа *while* управляется истинностью некоторого условия, вследствие чего нет необходимости знать заранее число выполнений цикла. Важно только, чтобы где-нибудь внутри цикла или в другом выполняемом участке программы присутствовал оператор, делающий условие цикла ложным. В противном случае цикл будет выполняться бесконечно. Если выполняемая программа *зациклилась*, то ее можно остановить нажатием клавиши Esc.

В общем виде оператор *while* записывается следующим образом:

while *Условие*

Оператор.

Оператор цикла выполняется, пока *Условие* истинно. Как только *Условие* станет ложным, выполнение цикла прекращается.

Задача. Составить функцию находящую первый положительный элемент вектора. Значения элементов вектора удовлетворяют выражению:

$$v_m = \sin(0.1m) - 0.5, \text{ где } m \text{ номер элемента.}$$

Функция должна возвращать значение элемента и его индекс.

Решение:

$$y(v) := \left| \begin{array}{l} j \leftarrow 0 \\ \text{while } v_j \leq 0 \\ \quad j \leftarrow j + 1 \\ \left(\begin{array}{c} v_j \\ j \end{array} \right) \end{array} \right.$$

Задаем функцию. Для ввода ключевого слова *while* необходимо нажать соответствующую кнопку в панели программирования. Для возврата функцией двух значений переменные объединены в вектор.

$$m := 0 \dots 2500$$

Задаем дискретный аргумент для расчета значений элементов вектора.

$$v_m := \sin(m \cdot 0.1) - 0.5$$

Рассчитываем значения элементов вектора.

$$y(v) = \left(\begin{array}{c} 0.065 \\ 6 \end{array} \right)$$

Находим первый положительный элемент вектора.

5.4.2. Оператор *break*

Часто удобно выйти из цикла или остановить исполнение программы при выполнении некоторого условия. Например, для приведенной в предыдущем примере программы существует возможность заикливания. Если каждый элемент из v меньше нуля, то условие никогда не станет ложным и поиск выйдет за пределы вектора, что приведет к сообщению об ошибке «индекс вне границ». Чтобы это не случилось, можно использовать оператор *break*, как показано ниже.

Задача. Составить функцию находящую первый положительный элемент вектора. Значения элементов вектора удовлетворяют выражению:

$$v_m = \sin(0.1m) - 0.5, \text{ где } m - \text{номер элемента.}$$

Функция должна возвращать значение элемента и его индекс и предотвращать выход индекса за границы вектора.

Решение:

$$y(v) := \left| \begin{array}{l} j \leftarrow 0 \\ \text{break if } \max(v) \leq 0 \\ \text{while } v_j \leq 0 \\ \quad j \leftarrow j + 1 \\ \left(\begin{array}{c} v_j \\ j \end{array} \right) \end{array} \right.$$

Задаем функцию. Для ввода ключевого слова *break* необходимо нажать соответствующую кнопку в панели программирования. Для возврата функцией двух значений переменные объединены в вектор. Выполнение программы прерывается, если максимальный элемент вектора меньше нуля.

$$m := 0 \dots 2500$$

Задаем дискретный аргумент для расчета значений элементов вектора.

$$v_m := \sin(m \cdot 0.1) - 0.5$$

Рассчитываем значения элементов вектора.

$$y(v) = \left(\begin{array}{c} 0.065 \\ 6 \end{array} \right)$$

Программа возвращает 0 в случае, если все элементы вектора меньше нуля. В противном случае она возвращает индекс и значение первого положительного элемента.

5.4.3. Цикл *for*

Цикл типа *for* является циклом, число шагов которого определено заранее.

Число шагов определяются переменной цикла, задаваемой в его начале.

В общем виде оператор *for* записывается следующим образом:

Переменная for ∈ *Дискретный аргумент*

Оператор

Эта запись означает, что если *Переменная* счетчика цикла меняется с шагом заданным *Дискретным аргументом*, то *Оператор* цикла будет выполняться. *Переменную* счетчика цикла можно использовать и в других выражениях программы.

Задача. Составить функцию, находящую сумму элементов вектора, имеющего десять элементов. Значения элементов вектора удовлетворяют выражению:

$$v_m = 1 + \sin(m), \text{ где } m \text{ номер элемента.}$$

Решение:

$\text{sum}(v) := \left\{ \begin{array}{l} n \leftarrow \text{last}(v) \\ s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0 \dots n \\ \quad s \leftarrow s + v_i \\ s \end{array} \right.$	<p>Задаем функцию. Для ввода ключевого слова <i>for</i> необходимо нажать соответствующую кнопку в панели программирования. Функция <i>last</i> определяет индекс последнего элемента вектора. Таким образом, число шагов цикла становится известным.</p>
---	---

$m := 0 \dots 9$	Задаем дискретный аргумент для расчета значений элементов вектора.
------------------	--

$v_m := 1 + \sin(m)$	Рассчитываем значения элементов вектора.
----------------------	--

$\text{sum}(v) = 11.955$	Рассчитываем сумму элементов массива с помощью функции.
--------------------------	---

5.4.4. Оператор *continue*

Оператор *continue* используется для продолжения работы после прерывания программы. Обычно он применяется совместно с операторами задания циклов *while* и *for*, обеспечивая после прерывания возврат в начало цикла. В отличие от оператора *break*, который прекращает выполнение программы в целом, оператор *continue* вызывает прекращение выполнения текущего шага цикла и выполняет переход к началу следующего шага.

Задача. Составить функцию, вычисляющую сумму всех неотрицательных элементов вектора. Значения элементов вектора удовлетворяют выражению:

$$v_m = \cos(\pi \cdot m / 10), \text{ где } m \text{ — номер элемента.}$$

Решение:

```
positive(v) :=
| n ← last(v)
| s ← 0
| for i ∈ 0 .. n
|   | continue if vi < 0
|   | s ← s + vi
| s
```

Задаем функцию. Для ввода ключевого слова *continue* необходимо нажать соответствующую кнопку в панели программирования.

$m := 0 .. 10$

Задаем дискретный аргумент для расчета значений элементов вектора.

$v_m := \cos\left(\pi \cdot \frac{m}{10}\right)$

Рассчитываем значения элементов вектора.

positive(v) = 3.657

Использование функции.

5.4.5. Оператор *return*

Оператор *return* прерывает выполнение программы и возвращает значение своего операнда, стоящего следом за ним. В общем виде оператор *return* записывается следующим образом:

return Выражение.

Задача. Составить функцию, вычисляющую выражение $\frac{\sin(x)}{x}$.

Для $x = 0$ функция должна возвращать значение 1.

Решение:

```
s(x) :=
| (return 1) if x = 0
| y ←  $\frac{\sin(x)}{x}$  otherwise
| y
```

Задаем функцию. Для ввода ключевого слова *return* необходимо нажать соответствующую кнопку в панели программирования.

$s(1.57) = 0.637$

Используем функцию

$s(0) = 1$

5.4.6. Оператор *on error* и функция *error*

Оператор *on error* является оператором обработки ошибок, позволяющим изменять ход вычислений при возникновении ошибок. Этот оператор задается в виде:

Выражение_2 *on error* Выражение_1.

Если при выполнении *Выражения_1* возникает ошибка, то выполняется *Выражение_2*.

Задача. Составить функцию, вычисляющую выражение $\frac{\sin(x)}{x}$.

Для $x = 0$ функция должна возвращать значение 1.

Решение:

$$s(x) := \left| \begin{array}{l} y \leftarrow 1 \quad \text{on error } y \leftarrow \frac{\sin(x)}{x} \\ y \end{array} \right.$$

Задаем функцию. Для ввода ключевых слов *on error* необходимо нажать соответствующую кнопку в панели программирования.

$$s(1.57) = 0.637$$

Используем функцию

$$s(0) = 1$$

С оператором *on error* связана функция *error*, которая обычно используется для возврата текстового сообщения об ошибке. Функция используется в виде: *error("text")*, где *text* – сообщение об ошибке.

Задача: Составить функцию, вычисляющую выражение $\frac{\sin(x)}{x}$.

В случае возникновения ошибки функция должна вернуть текстовое сообщение об ошибке.

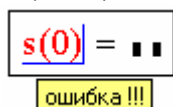
Решение:

$$s(x) := \left| \begin{array}{l} \text{error}(\text{"ошибка !!!"}) \quad \text{if } x = 0 \\ y \leftarrow \frac{\sin(x)}{x} \\ y \end{array} \right.$$

Задаем функцию. Для ввода ключевых слов *on error* необходимо нажать соответствующую кнопку в панели программирования.

$$s(1.57) = 0.637$$

Используем функцию.



Библиографический список

1. Руководство пользователя MathCAD PLUS 6.0 / MathSoft Inc., 1996.
2. Очков, В.Ф. MathCAD PLUS 6.0 для студентов и инженеров / В.Ф. Очков. – М. : ТОО фирма «КомпьютерПресс», 1996.

Приложение 1

Команды меню

Меню управления:

Восстановить – раскрыть окно приложения из пиктограммы;
Переместить – переместить окно приложения;
Размер – изменить размер окна приложения;
Свернуть – свернуть окно в пиктограмму;
Развернуть – перейти в полноэкранный режим;
Закрыть [Ctrl-F4] – закрыть окно и закончить работу в приложении;
Следующее окно [Ctrl-F6] – переключиться в следующее окно.

Меню Файл:

Создать... – открыть окно для нового документа;
Открыть... – открыть существующий документ;
Закрыть – закрыть окно документа;
Сохранить – сохранить на диске текущий документ;
Сохранить как... – сохранить на диске текущий документ под новым именем;
Отправить – отправить документ по электронной почте.
Параметры страницы... – установить параметры страницы для печати документа;
Предварительный просмотр... – предварительный просмотр документа перед печатью;
Печать... – распечатать документ;
Выход – выйти из среды MathCAD.

Меню Правка:

Отмена – отменить последнее редактирование;
Возврат – вернуть последнее изменение;
Вырезать – переместить выделенное в Буфер Обмена;
Копировать – скопировать выделенное в Буфер Обмена;
Вставить – вставить выделенное из Буфера Обмена в документ;
Специальная вставка... – вставить выделенное из Буфера Обмена в различном формате (например, формат MathCAD или bitmap);
Удалить – удалить выделенное;
Выделить все – выделить все объекты в документе;
Поиск – поиск фрагмента текста;
Замена – замена одного фрагмента текста на другой;
Перейти к странице – переход к нужной странице документа;

Проверка орфографии – проверка орфографии в выделенных фрагментах;
Ссылки – отображение и редактирование связей с другими документами;
Объект – активирование вложенного или связанного *OLE* объекта.

Меню Вид:

Панели инструментов – вывод на экран панелей инструментов;
Строка состояния – скрыть или показать строку состояния;
Линейка – скрыть или показать линейку;
Область – скрыть или показать границы областей;
Масштаб – изменение масштаба отображения текущего документа;
Обновить – перерисовать окно текущего документа;
Анимация – создать анимацию в документе;
Воспроизведение – воспроизведение сохраненной ранее анимации;
Настройки – изменение общих и сетевых настроек программы.

Меню Вставка:

График – создать график;
Матрица – создать или изменить матрицу;
Функция – отображение списка функций для последующего выбора;
Единицы – отображение списка единиц измерения для последующего выбора;
Область – создать область, которую можно закрывать или блокировать;
Рисунок – вставить рисунок;
Математическая область – вставить математическую область в текст;
Текстовая область – создать текстовую область;
Разрыв страницы – вставить разрыв страницы в текущую позицию;
Гиперссылка – встраивание или изменение гипертекстовой связи с другим документом;
Ссылка – вставить ссылку на другой документ;
Компонент – отображение списка компонентов для последующего выбора;
Объект – отображение списка объектов для вставки.

Меню Формат:

Выражения... – изменить шрифт переменных или чисел;
Результат – изменить формат результатов;
Текст – шрифт для нового или выбранного шрифта;
Абзац – изменить формат текущего абзаца;
Табуляция – установить табуляцию для документа или выбранного участка текста;

Стиль – определить или применить комбинацию настроечных параметров формата текста;

Свойства – изменение свойств выбранной области;

График – построение графика;

Цвет – изменение цветовой гаммы документа;

Разделить области – разделить перекрывающиеся области;

Выровнять области – выравнивание выбранных областей по верхней или по левой границе;

Область – сокрытие и блокировка выбранной области;

Защита рабочего листа – установить защиту рабочего листа

Заголовки/Нижние колонтитулы – изменить формат заголовков и нижних колонтитулов;

Пронумеровать страницы – восстановить мягкие разделители страниц.

Меню Математика:

Вычислить – обновление результата вычислений;

Просчитать весь документ – выполнить расчет всего документа;

Автоматические вычисления – переключение между автоматическим и ручным режимами вычислений;

Оптимизация – разрешить или запретить автоматическую оптимизацию;

Параметры – изменить встроенные переменные, системные единицы и другие математические параметры.

Меню Аналитика:

Вычислить – выбор способа расчета выражения:

- в символьном виде – символьное вычисление выражения;
- в комплексном виде – комплексное преобразование выражения;
- с плавающей точкой... – численное вычисление выражения;

Упростить выражение – упростить выделенное выражение, выполняя арифметические действия, сокращая подобные слагаемые, приводя к общему знаменателю и используя основные тригонометрические тождества;

Раскрыть выражение – раскрытие выражения: было $(X+Y) \cdot (X-Y)$, стало $X^2 - Y^2$;

Разложить на множители – разложить на множители: поиск множителя: было $X^2 - Y^2$, стало $(X+Y) \cdot (X-Y)$;

Разложить по подвыражению – разложить по подвыражению: собрать слагаемые, подобные выделенному выражению, которое может быть отдельной переменной или функцией со своим аргументом. Результатом будет выражение, полиномиальное относительно выбранного выражения:

Полиномиальные коэффициенты – найти коэффициенты выражения, когда оно записано как полином относительно выделенной переменной или функции;

Переменная – выбор действия по отношению к переменной:

- Решить относительно переменной – найти значения выделенной переменной, при которых содержащее ее выражение становится равным нулю. Если выделить переменную в уравнении или в неравенстве, эта команда решает уравнение или неравенство относительно данной переменной;

- Заменить содержимым буфера – подставить содержимое Буфера Обмена вместо переменной в выражение во всех местах, где она встречается. Для использования этой команды меню сначала скопируйте в Буфер Обмена то, что нужно подставить вместо этой переменной, используя команды Копировать или Вырезать. Затем выделите переменную в каком-либо месте выражения и выберите эту команду меню;

- Дифференцировать – дифференцировать все выражение, содержащее выделенную переменную по отношению к этой переменной. Остальные переменные рассматриваются как константы;

- Интегрировать – интегрировать все выражение, содержащее выделенную переменную, по этой переменной;

- Разложить в ряд Тейлора – найти несколько членов разложения выражения в ряд Тейлора по выделенной переменной. Диалоговое окно позволяет выбрать количество членов разложения;

- Разложить на элементарные дроби – разложить на элементарные дроби выражение, которое рассматривается как рациональная дробь относительно выделенной переменной;

Матрица – операции с матрицами:

- Транспонировать – транспонирование матрицы;

- Обратить – инвертирование матрицы;

- Вычислить определитель – вычисление детерминанта (определителя) матрицы;

Преобразования – математические преобразования:

- Преобразование Фурье – вычислить преобразование Фурье относительно выделенной переменной;

- Обратное преобразование Фурье – вычислить обратное преобразование Фурье относительно выделенной переменной. Результат – функция от переменной t ;

- Преобразование Лапласа – вычислить преобразование Лапласа относительно выделенной переменной. Результат – функция от переменной s ;
- Обратное преобразование Лапласа – вычислить обратное преобразование Лапласа относительно выделенной переменной. Результат – функция от переменной t ;
- Z-преобразование – вычислить z-преобразование выражения по отношению к выделенной переменной. Результат – функция от переменной z ;
- Обратное Z-преобразование – вычислить обратное z-преобразование относительно выделенной переменной. Результат – функция от переменной n ;
- Стилль вычислений – выбор способа отображения результата символьных преобразований: наличие комментариев и вертикальное либо горизонтальное размещение по отношению к преобразуемому выражению.

Меню Окно:

Каскадом – расположить окна документов каскадом (друг под другом так, чтобы были видны заголовки);

По горизонтали – расположить окна документов горизонтально так, чтобы они не перекрывались;

По вертикали – расположить окна документов вертикально так, чтобы они не перекрывались.

Меню Справка:

Справка по MathCAD – запуск справочной системы;

Рекомендации разработчиков – Рекомендации разработчиков по работе с программой;

Рекомендации авторам – рекомендации по разработке электронных книг;

Ресурс-центр – открыть подборку ресурсов для MathCAD;

Советы и подсказки – открыть окно полезных советов;

Открыть MathCAD-книгу – открыть электронную книгу;

Обновление MathCAD – Выполнение обновления MathCAD;

О программе MathCAD – отображение информации о программе, номер версии и авторские права.

Приложение 2

Встроенные операторы

Обозначения:

 A и B – массивы как векторов, так и матриц; u и v – векторы с действительными или с комплексными элементами; M – квадратная матрица; z и w – действительные или комплексные числа; x и y – действительные числа; m и n – целые числа; i – диапазон переменных; t – любое имя переменной; f – функция; X и Y – переменные или выражения любого типа.

Оператор	Обозначение	Клавиша	Описание
Круглые скобки	(X)	'	Группа операторов
Нижний индекс	A_n	[Возвращение индексированного элемента массива
Верхний индекс	$A^{<n>}$	Ctrl-6	Выбор колонки n из массива A . Возврат вектора
Векторизация	\vec{X}	Ctrl-минус	Позволяет производить операции по экспрессии X для того, чтобы один элемент заменялся другим. Все векторы или матрицы в X должны быть одинакового размера
Факториал	$n!$!	Возвращает $n(n-1) \cdot (n-2) \dots$ Целое число n не может быть отрицательным
Сопряженный комплекс	\bar{X}	"	Инвертированный сигнал мнимой части X
Транспонировать	A^T	Ctrl-1	Возвращает матрицы, чьи ряды являются колонками A и чьи колонки являются рядами A . A может быть вектором или матрицей
Степень	z^w	^	Возводит z в степень w
Степень матрицы, инверсная матрица	M^n	^	n^{th} – степень квадратной матрицы M (использование матрицы умножения), n должно быть целым числом. M^{-1} обратно пропорционально M . Другие отрицательные степени являются степенями инвер-

Оператор	Обозначение	Клавиша	Описание
			сий. Возврат матрицы
Отрицание	$-X$	-	Умножение X на -1
Сумма вектора	$\sum v$	Ctrl-4	Суммы элементов вектора; возвращение скаляра
Квадратный корень	\sqrt{Z}	\	Возвращение положительного квадратного корня для положительного z ; абсолютная величина для отрицательного или комплексного z
Корень n -й степени	$\sqrt[n]{Z}$	Ctrl-\	Возвращение n^{th} корня z ; возвращает реальное значение корня всякий раз, когда это возможно
Модуль	$ Z $		Возвращение $\sqrt{\text{Re}(Z)^2 + \text{Im}(Z)^2}$
Размер вектора	$ Z $		Возвращение $\sqrt{v \cdot v}$, если все элементы в v являются реальными. Возвращение $\sqrt{v \cdot v}$, если элемент в v является комплексным
Детерминант	$ M $		Возвращение определителя квадратной матрицы M
Деление	X/z	/	Деление выражения X на скаляр z , не равный 0. Если X является массивом, то делится каждый элемент массива на z
Умножение	$X \cdot Y$	*	Возвращает произведение X и Y , если как X , так и Y – скаляр. Умножаем каждый элемент Y на X , если Y – массив и X – скаляр. Возвращение точечного произведения (внутреннее произведение), если X и Y – векторы одинакового размера. Выполняем умножение матрицы, если X и Y – подобные матрицы
Кросс-произведение	$u \cdot v$	Ctrl-8	Возвращение кросс-произведения (вектор произведения) для третьего элемента векторов u и v
Суммирование	$\sum_{i=m}^n X$	Ctrl-Shift-4	Произвести суммирование X для $i=m, m+1, \dots, n$. X может быть любым выражением. Нет необходимости возводить в степень i , но обычно это делают, m и n должны быть целыми числами

Оператор	Обозначение	Клавиша	Описание
Произведение	$\prod_{i=m}^n X$	Ctrl-Shift-3	Выполнить итерацию произведения X для $i=m, m+1, \dots, n$. X может быть любым выражением. Нет необходимости возводить в степень i , но обычно это делают, m и n должны быть целыми числами
Границы суммирования	$\sum_i X$	\$	Возвращение суммы X ряда переменных i . X может быть любым выражением. Нет необходимости возводить в степень i , но обычно это делают
Границы произведения	$\prod_i X$	#	Возвращение итераций произведений X над рядом переменных i . X может быть любым выражением. Нет необходимости возводить в степень i , но обычно это делают
Предел	$\lim_{x \rightarrow a} f(x)$	Ctrl-L	Возвращает предел функции $f(x)$ по мере того, как x приближается к значению a . Должно быть оценено символически
Предел	$\lim_{x \rightarrow a^-} f(x)$	Ctrl-B	Возвращает предел функции $f(x)$ по мере того, как x приближается к значению a с левой стороны. Должно быть оценено символически
Интеграл	$\int_a^b f(x) dx$	&	Возвращает определенный интеграл $f(t)$ на интервале $[a, b]$. a и b должны быть реальными скалярами. Переменные в выражении $f(t)$, исключая переменную интегрирования t , определены. Подынтегральное выражение $f(t)$ не может быть возвращено в массив
Неопределенный интеграл	$\int f(t) dt$		Возвращает неопределенный интеграл $f(t)$. Должен быть оценен символически
Производная	$\frac{d}{dt} f(x)$?	Возвращение Производной $f(t)$, оцененное как t . Все переменные в выражении $f(t)$ должны быть определены, переменная t должна иметь скалярное значение, функция $f(t)$ должна возвращать скаляр
Производная n -го порядка	$\frac{d^n}{dt^n} f(t)$	Ctrl-?	Возвращение n^{th} производной $f(t)$, оцененное как t . Все переменные в $f(t)$ должны быть определены, переменная t должна иметь скалярное значение, функция $f(t)$ должна возвращать скаляр,

Оператор	Обозначение	Клавиша	Описание
			n должно быть выражено цифрами 0,1,2,3,4,5 или оценено символически любым целым положительным числом
Сложение	$X+Y$	+	Выполняет скалярное сложение, если X , Y или оба – скаляры. Выполняет сложение элементов, если X и Y – векторы или матрицы одинакового размера. Если X – массив, Y – скаляр, складывает каждый элемент Y и X
Вычитание	$X-Y$	-	Выполняет скалярное вычитание, если X , Y или оба являются скалярами. Выполняет вычитание элементов, если X и Y – векторы или матрицы одинакового размера. Если X является массивом и Y – скаляром, вычитает Y из каждого элемента X
Сложение с линейным разрывом	$X...+Y$	Ctrl-↵	Работает точно так же, как сложение. Линия разрыва имеет редакционное значение
Больше, чем	$x > y$	>	Возвращение 1, если $x > y$, иначе 0. x и y должны быть реальными скалярами
Меньше, чем	$x < y$	<	Возвращение 1, если $x > y$, иначе 0, x и y должны быть реальными скалярами
Больше, чем или равно	$x \geq y$	Ctrl-0	Возвращение 1, если $x > y$, иначе 0. x и y должны быть реальными скалярами
Меньше, чем или равно	$x \leq y$	Ctrl-9	Возвращение 1, если $x > y$, иначе 0. x и y должны быть реальными скалярами
Не равно	$z \neq w$	Ctrl-3	Возвращение 1, если $z \neq w$, иначе 0, z и w должны быть скалярами
Равно	$z = w$	Ctrl-=	Возвращение 1, если $z = w$, иначе 0. z и w должны быть скалярами. Появляется на экране дисплея отчетливо как знак равенства

Приложение 3

Встроенные функции

Обозначения:

x и y – вещественные числа;

z – вещественное либо комплексное число;

m, n, i, j и k – целые числа;

v, u и все имена, начинающиеся с v , – векторы;

A и B – матрицы либо векторы;

M и N – квадратные матрицы;

F – вектор-функция;

`file` – имя файла, либо файловая переменная, содержащая имя файла.

Все углы измеряются в радианах. Многозначные функции и функции с комплексным аргументом всегда возвращают главное значение.

Имена приведенных функций нечувствительны к шрифту, но чувствительны к регистру – их следует печатать в точности, как они приведены. После имени функции следует читать «возвращает» и далее по тексту.

1. $\text{acos}(z)$ – арккосинус

2. $\text{acosh}(z)$ – гиперболический арккосинус: обратная функция к гиперболическому косинусу

3. $\text{angle}(x, y)$ – угол (в радианах) между положительным направлением оси x и радиусом-вектором точки (x, y)

4. $\text{APPEND}(\text{file})$ – добавление значения одиночной переменной к существующему файлу `file.dat` на диске

5. $\text{APPENDPRN}(\text{file})$ – добавление матрицы к существующему файлу `file.prn` на диске

6. $\text{arg}(z)$ – аргумент комплексного числа z (в радианах)

7. $\text{asinh}(z)$ – арксинус: обратная функция к гиперболическому синусу

8. $\text{atan}(z)$ – арктангенс

9. $\text{atanh}(z)$ – арктангенс: обратная функция к гиперболическому тангенсу

10. $\text{augment}(A, B)$ – соединение двух матриц; обе матрицы должны иметь одинаковый размер

11. $\text{bulstoer}(v, x1, x2, \text{acc}, n, F, k, s)$ – матрица решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений, правая часть которых записана в символьном векторе F с заданными начальными условиями в векторе v на интервале от

x_1 до x_2 ; используется метод Булирш-Штера с переменным шагом; параметры k и s задают шаг

12. $\text{Bulstoer}(v, x_1, x_2, n, F)$ – матрица решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений, правая часть которых записана в символьном векторе F с заданными начальными условиями в векторе v на интервале от x_1 до x_2 ; используется метод Булирш-Штера

13. $\text{bvalfit}(v_1, v_2, x_1, x_2, x_i, F, L_1, L_2, S)$ – устанавливает начальные условия для краевой задачи, заданной в векторах F , v_1 и v_2 на интервале от x_1 до x_2 , где решение известно в некоторой промежуточной точке x_i

14. $\text{ceil}(x)$ – наименьшее целое, не превышающее x

15. $\text{cfft}(A)$ – быстрое преобразование Фурье массива комплексных чисел

A. Возвращает массив такого же размера, как и его аргумент

16. $\text{CFFT}(A)$ – то же, что и в п. 16, но использует другую норму и знак

17. $\text{cholesky}(M)$ – треугольное разложение матрицы M методом Холецкого.

18. $\text{cnorm}(x)$ – интеграл от минус бесконечности до x от функции стандартного нормального распределения

19. $\text{cols}(A)$ – число столбцов в матрице A

20. complex – ключевое слово режима автоматических символьных преобразований

21. $\text{concat}(S_1, S_2)$ – сцепление двух текстовых переменных S_1 и S_2

22. $\text{concl}(M)$ – число обусловленности матрицы, вычисленное в норме L_1

23. $\text{cond2}(M)$ – число обусловленности матрицы, вычисленное в норме L_2

24. $\text{conde}(M)$ – число обусловленности матрицы, вычисленное в норме евклидова пространства

25. $\text{condi}(M)$ – число обусловленности матрицы, основанное на равномерной норме

26. $\text{corr}(vx, vy)$ – коэффициент корреляции двух векторов – vx и vy

27. $\text{cos}(z)$ – косинус

28. $\text{cosh}(z)$ – гиперболический косинус

29. $\text{cot}(z)$ – котангенс

30. $\text{coth}(z)$ – гиперболический котангенс

31. $\text{csc}(z)$ – косеканс

32. $\text{csch}(z)$ – гиперболический косеканс

33. $\text{csort}(A, n)$ – сортировка матрицы A по столбцу n (перестановка строк по возрастанию значений элементов в столбце n)

34. $\text{cspline}(vx, vy)$ – коэффициенты кубического сплайна, построенного по векторам vx и vy

35. $\text{cvar}(X, Y)$ – ковариация X и Y
36. $\text{dbeta}(x, s1, s2)$ – плотность вероятности для β -распределения
37. $\text{dbinom}(k, n, p)$ – биномиальное распределение. Возвращает значение вероятности $P(x=k)$, где k – случайная величина
38. $\text{dcauchy}(x, l, s)$ – плотность вероятности для распределения Коши
39. $\text{dchisq}(x, d)$ – плотность вероятности для Хи-квадрат-распределения
40. $\text{dexp}(x, r)$ – плотность вероятности для экспоненциального распределения
41. $\text{dF}(x, d1, d2)$ – плотность вероятности для распределения Фишера
42. $\text{dgamma}(x, s)$ – плотность вероятности для гамма-распределения
43. $\text{dgeom}(k, p)$ – то же, что и п. 38, но для геометрического распределения
44. $\text{diag}(v)$ – диагональная матрица, элементы главной диагонали которой – вектор v
45. $\text{dlnorm}(x, \mu, \sigma)$ – плотность вероятности для логнормального распределения
46. $\text{dlogis}(x, I, s)$ – плотность вероятности для логистического распределения
47. $\text{dnbinom}(k, n, p)$ – то же, что и п. 38, но для отрицательного биномиального распределения
48. $\text{dnorm}(x, \mu, \sigma)$ – плотность вероятности для нормального распределения
49. $\text{dpois}(k, \lambda)$ – тоже, что и п. 38, но для распределения Пуассона
50. $\text{dt}(x, d)$ – плотность вероятности для распределения Стьюдента
51. $\text{dunif}(x, a, b)$ – плотность вероятности для равномерного распределения
52. $\text{dweibull}(x, s)$ – плотность вероятности для распределения Вейбулла
53. $\text{eigenvals}(M)$ – собственные значения матрицы
54. $\text{eigenvec}(M, z)$ – нормированный собственный вектор матрицы M , соответствующий ее собственному значению z
55. $\text{eigenvecs}(M)$ – матрица, столбцами которой являются собственные векторы матрицы M . Порядок расположения собственных векторов соответствует порядку собственных значений, возвращаемых функцией eigenvals
56. $\text{erf}(x)$ – функция ошибок
57. $\text{error}(S)$ – S сообщение об ошибке
58. $\text{exp}(z)$ – экспонента
59. $\text{Find}(\text{var1}, \text{var2}, \dots)$ – значения $\text{var1}, \text{var2}, \dots$, доставляющие решение системе уравнений. Число возвращаемых значений равно числу аргументов

60. $\text{fft}(v)$ – быстрое преобразование Фурье вещественных чисел, v – вещественный вектор с 2^n элементами, где n – целое число. Возвращает вектор размера $2^{n-1}+1$

61. $\text{FFT}(v)$ – то же, что и $\text{fft}(v)$, но использует другие норму и знак

62. $\text{floor}(x)$ – наибольшее целое число, меньшее или равное x , x должно быть действительным

63. $\text{genfit}(vx, vy, vg, F)$ – вектор, содержащий параметры, которые делают функцию F от x и n параметров U_0, U_1, \dots, U_{n-1} , наилучшим образом аппроксимированной к данным в vx и vy . F является функцией, которая возвращает вектор из $n+1$ элемента, содержащий f и его частные производные по его n параметрам, vx и vy должны быть того же самого размера, vg – вектор n элементов для приблизительных значений для n параметров

64. $\text{geninv}(A)$ – левая обратная к матрице A , $L \cdot A = E$, где E – единичная матрица размером n (n, L – прямоугольная матрица размером $n \cdot m$, A – прямоугольная матрица размером $m \cdot n$)

65. $\text{genvals}(M, N)$ – вектор обобщенных собственных значений v_i матрицы M : $M(x = v_i \cdot N \cdot x)$. M и N – матрицы с действительными элементами)

66. $\text{genvecs}(M, N)$ – матрица, содержащая нормированные собственные векторы, отвечающие собственным значениям в v , который в векторе возвращен в genvals , n -й столбец этой матрицы является собственным вектором x , удовлетворяющим собственному значению уравнения $M \cdot x = v_n \cdot N \cdot x$. Матрицы M и N содержат действительные значения

67. $\text{hist}(\text{intervals}, \text{data})$ – гистограмма. Вектор intervals задает границы интервалов в порядке возрастания, data – массив данных. Возвращает вектор той же размерности, что и вектор intervals , и содержит число точек из data , попавших в соответствующий интервал

68. $I_0(x)$ – модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка

69. $I_1(x)$ – модифицированная функция Бесселя первого рода первого порядка

70. $\text{icfft}(A)$ – обратное преобразование Фурье, соответствующее cfft . Возвращение массива такого же размера, как и его аргумент

71. $\text{ICFFT}(A)$ – обратное преобразование, соответствующее CFFT . Возвращение массива такого же размера, как и его аргумент

72. $\text{identity}(n)$ – единичная квадратная матрица размером n

73. $\text{if}(\text{cond}, x, y)$ – x , если cond больше 0, иначе y

74. $\text{ifft}(v)$ – обратное преобразование Фурье, соответствующее cfft . Берется вектор размером $1+2^{n-1}$, где n – целое число. Возвращение действительного вектора размером 2^n

75. $\text{IFFT}(v)$ – обратное преобразование, соответствующее FFT. Берется вектор размером $1+2^{n-1}$, где n – целое число. Возвращение действительного вектора размером 2^n

76. $\text{Im}(z)$ – мнимая часть комплексного числа z

77. $\text{In}(m, x)$ – модифицированная функция Бесселя первого рода m -го порядка

78. $\text{intercept}(vx, vy)$ – коэффициент a линейной регрессии $y = a + b \cdot x$ векторов vx и vy

79. $\text{interp}(vs, Mxy, Mz, n)$ – возвращает интерполируемое значение z , соответствующее точкам $x = n_0$ и $x = n_1$. Вектор vs вычисляется lspline , pspline или cspline на основе данных из Mxy и Mz .

80. $\text{interp}(vs, vx, vy, x)$ – значение сплайна в точке x по исходным векторам vx и vy и по коэффициентам сплайна vs

81. $\text{iwave}(v)$ – обратное преобразование относительно преобразования wave . v – вектор размером 2^n

82. $J_0(x)$ – функция Бесселя первого рода нулевого порядка

83. $J_1(x)$ – функция Бесселя первого рода первого порядка

84. $J_n(m, x)$ – функция Бесселя m -го порядка; $0 < m < 100$

85. $K_0(x)$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка

86. $K_1(x)$ – модифицированная функция Бесселя первого порядка

87. $K_n(m, x)$ – модифицированная функция Бесселя m -го порядка; $0 < m < 100$

88. $\text{ksmooth}(vx, vy, b)$ – n -мерный вектор возвращенных средних vx , вычисленных на основе распределения Гаусса, vx и vy – n -мерные векторы действительных чисел. Полоса пропускания b управляет сглаживающими окнами

89. $\text{last}(v)$ – индекс последнего элемента вектора v

90. $\text{lenght}(v)$ – число элементов в векторе v

91. $\text{linfit}(vx, vy, F)$ – коэффициенты линейной аппроксимации методом наименьших квадратов по функциям, хранящимся в символьном векторе F ; исходные точки хранятся в векторах vx и vy

92. $\text{linterp}(vx, vy, x)$ – значение в точке x линейного интерполяционного многочлена векторов vx и vy

93. $\text{ln}(z)$ – натуральный логарифм

94. $\text{loess}(vx, vy, \text{span})$ – вектор, используемый функцией interp для определения набора многочленов второй степени, которые наилучшим образом аппроксимируют часть данных из векторов vx и vy . Аргумент span указывает размер части аппроксимируемых данных

95. $\text{loess}(Mxy, vz, \text{span})$ – вектор, используемый функцией interp для определения набора многочленов второй степени, которые наилучшим образом аппроксимируют зависимость $Z(x,y)$ по множеству Mxy . Значения Z содержатся в массиве vz . Аргумент span указывает размер части аппроксимируемых данных

96. $\log(z)$ – десятичный логарифм

97. $\text{lsolve}(M, v)$ – решение системы линейных алгебраических уравнений вида $M \cdot x = v$

98. $\text{lspline}(vx, vy)$ – коэффициенты линейного сплайна, построенного по векторам vx и vy

99. $\text{lspline}(Mxy, Mz)$ – вектор, используемый функцией interp для интерполяции данных из Mxy Mz . Интерполирующая поверхность имеет на границе сетки, определяемой Mxy , равные нулю производные выше первого порядка.

100. $\text{lu}(M)$ – треугольное разложение матрицы M : $P \cdot M = L \cdot U$. L и U – нижняя и верхняя треугольные матрицы соответственно. Все четыре матрицы квадратные, одного порядка

101. $\text{matrix}(m, n, f)$ – матрица, в которой (i, j) -й элемент содержит $f(i, j)$, где $i=0, 1, \dots, m$ и $j=0, 1, \dots, n$

102. $\text{max}(A)$ – наибольший элемент в матрице A

103. $\text{mean}(v)$ – среднее значение вектора v

104. $\text{median}(X)$ – медиана

105. $\text{medsmooth}(vy, n)$ – m -мерный вектор, сглаживающий vy методом скользящей медианы, vy – m -мерный вектор вещественных чисел, n – ширина окна, по которому происходит сглаживание

106. $\text{min}(A)$ – наименьший элемент в матрице A

107. $\text{Minerr}(x1, x2, \dots)$ – вектор значений для $x1, x2, \dots$, которые приводят к минимальной ошибке в системе уравнений

108. $\text{mod}(x, \text{modulus})$ – остаток от деления x по модулю. Аргументы должны быть действительными. Результат имеет такой же знак, как и x

109. $\text{multigrid}(M, n)$ – матрица решения уравнения Пуассона, где решение равно нулю на границах

110. $\text{norml}(M)$ – L1 норма матрицы M

111. $\text{norm2}(M)$ – L2 норма матрицы M

112. $\text{norme}(M)$ – евклидова норма матрицы M

113. normi(M) – неопределенная норма матрицы M

114. num2str(z) – строка, характеристика которой соответствует десятичному значению номера z

115. pbeta($x, s1, s2$) – значение в точке x функции стандартного нормального распределения

116. pbinom(k, n, p) – функция распределения биномиального закона для k успехов в серии n испытаний

117. pcauchy(x, l, s) – значение в точке x функции распределения Коши со шкалой параметров l и s

118. pchisq(x, d) – значение в точке x кумулятивного Хи-квадрат распределения, в котором d – степень свободы

119. pexp(x, r) – значение в точке x функции экспоненциального распределения

120. pF($x, d1, d2$) – значение в точке x функции распределения Фишера

121. pgamma(x, s) – значение в точке x функции гамма-распределения

122. pgeom(k, p) – значение в точке x функции геометрического распределения

123. plnorm(x, μ, σ) – значение в точке x функции логнормального распределения, в котором μ – логарифм среднего значения, $\sigma > 0$ – логарифм стандартного отклонения

124. plogis(x, l, s) – значение в точке x функции последовательного распределения, l – параметр положения, $s > 0$ – параметр шкалы

125. pnbinom(k, n, p) – значение в точке x функции отрицательного биномиального распределения, в котором $n < 0$ и $0 < p \leq 1$

126. pnorm(x, μ, σ) – значение в точке x функции нормального распределения со средним значением μ и стандартным отклонением σ

127. polyroots(v) – корни многочлена степени n , чьи коэффициенты находятся в векторе v , длина которого равна $n + 1$

128. ppois(k, λ) – значение в точке k функции распределения Пуассона

129. predict(v, m, n) – прогноз. Вектор, содержащий равноотстоящие предсказанные значения n переменных, вычисленных по m заданным в массиве v данным

130. pspline(vx, vy) – коэффициенты параболического сплайна, построенного по векторам vx и vy

131. pspline(Mxy, Mz) – вектор вторых производных для данных Mxy и Mz . Этот вектор становится первым аргументом в функции interp. Результирующая

поверхность является параболической в границах области, ограниченной хордой Mxy

132. $pt(x, d)$ – значение в точке x функции распределения Стюдента. d – степень свободы, $x > 0$ и $d > 0$

133. $punif(x, a, b)$ – значение в точке x функции равномерного распределения, b и a – границы интервала. $a < b$

134. $pweibull(x, s)$ – значение в точке x функции распределения Вейбулла. $s < 0$

135. $qbeta(p, s1, s2)$ – квантили обратного бетта-распределения с параметрами формы $s1$ и $s2$. $0 \leq p \leq 1$ и $s1, s2 > 0$

136. $qbinom(p, n, q)$ – количество успешных определений при n -ном количестве испытаний при решении уравнения Бернулли при условии, что вероятность этого количества успешных определений есть p . q – вероятность успеха при однократном испытании, $0 \leq q \leq 1$ и $0 \leq p \leq 1$

137. $qcauchy(p, l, q)$ – квантили обратного распределения Коши со шкалой параметров l и s . $s > 0$ и $0 < p < 1$

138. $qchisq(p, d)$ – квантили обратного Хи-квадрат-распределения, при котором $d > 0$ является характеристикой степеней свободы, $0 \leq p < 1$

139. $qexp(p, r)$ – квантили обратного экспоненциального распределения, при котором $r > 0$, определяет частоту, $0 \leq p < 1$

140. $qF(p, d1, d2)$ – квантили обратного распределения Фишера, в котором $d1$ и $d2$ – степени свободы. $0 \leq p < 1$

141. $qgamma(p, s)$ – квантили обратного гамма-распределения, при котором $S > 0$ – параметры формы. $0 \leq p < 1$

142. $qgeom(p, q)$ – квантили обратного геометрического распределения, q определяет вероятность успеха однократного испытания, $0 < p < 1$ и $0 \leq q < 1$

143. $qlnorm(p, \mu, \sigma)$ – квантили обратного логнормального распределения, при котором μ – логарифм среднего числа, $\sigma > 0$ – логарифм стандартного отклонения, $0 \leq p < 1$

144. $qlogis(p, l, s)$ – квантили обратного последовательного распределения, l – параметр положения, $s > 0$ – параметр шкалы, $0 < p < 1$

145. $qnbinom(p, n, q)$ – квантили обратного отрицательного биномиального распределения с размером n и вероятностью ошибки q . $0 \leq q \leq 1$ и $0 \leq p \leq 1$

146. $qnorm(p, \mu, \sigma)$ – квантили обратного нормального распределения со средним значением и стандартным отклонением σ . $0 < p < 1$ и $\sigma > 0$

147. $qpois(p, \lambda)$ – квантили обратного распределения Пуассона. $\lambda > 0$ и $0 \leq p \leq 1$

148. $qr(A)$ – разложение матрицы A , $A = Q \cdot R$, где Q – ортогональная матрица и R – верхняя треугольная матрица.

149. $qt(p, d)$ – квантили обратного распределения Стьюдента, d определяет степени свободы, $d > 0$ и $0 < p < 1$

150. $qunif(p, a, b)$ – квантили обратного равномерного распределения, b и a – конечные значения интервала. $a < b$ и $0 \leq p \leq 1$

151. $qweibull(p, s)$ – квантили обратного распределения Вейбулла, $s > 0$ и $0 < p < 1$.

152. $rank(A)$ – ранг матрицы A

153. $rbeta(m, s1, s2)$ – вектор m случайных чисел, имеющих бета-распределение. $s1, s2 > 0$ являются параметрами формы

154. $rbinom(m, n, p)$ – вектор m случайных чисел, имеющих биномиальное распределение, $0 \leq p \leq 1$, n – целое число, удовлетворяющее $n > 0$

155. $rcauchy(m, l, s)$ – вектор m случайных чисел, имеющих распределение Коши, l и $s > 0$ – параметры шкалы

156. $rchisq(m, d)$ – вектор m случайных чисел, имеющих Хи-квадрат-распределение. $d > 0$ определяет степени свободы

157. $Re(z)$ – действительная часть комплексного числа

158. $READ(file)$ – присваивание простой переменной значения из файла с именем $file.prn$

159. $READ_BLUE(file)$ – массив, соответствующий синему цвету компонента, содержащегося в файле $file$

160. $READ_BMP(file)$ – массив, содержащий черно-белое представление изображения, содержащегося в файле $file$

161. $READ_GREEN(file)$ – массив, соответствующий зеленому цвету компонента, содержащегося в файле $file$

162. $READ_HLS(file)$ – массив, в котором цветовая информация, содержащаяся в файле $file$, представлена соответствующими значениями оттенка цвета, насыщенностью и величиной.

163. $READ_HLS_HUE(file)$ – массив, соответствующий оттенку цвета компонента, содержащегося в файле $file$

164. $READ_HLS_LIGHT(file)$ – массив, соответствующий яркости цветового компонента, содержащегося в файле $file$

165. $READ_HLS_SAT(file)$ – массив, соответствующий насыщенности цветового компонента, содержащегося в файле $file$

166. READ_HSV(file) – массив, в котором цветовая информация, содержащаяся в файле file, представлена соответствующими значениями оттенка цвета, яркости и насыщенности.

167. READ_HSV_HUE(file) – массив, соответствующий оттенку цветового компонента, содержащегося в файле file

168. READ_HSV_SAT(file) – массив, соответствующий насыщенности цветового компонента, содержащегося в файле file

169. READ_HSV_VALUE(file) – массив, соответствующий значению цветового компонента, содержащегося в файле file

170. READ_IMAGE(file) – массив, содержащий черно-белое представление изображения, содержащегося в файле file BMP-, GIF-, JPG- или TGA-формата

171. READPRN(file) – присваивание матрице значений из файла с именем file. prn

172. READ_RED(file) – массив, соответствующий красному цвету компонента, содержащегося в файле file

173. READRGB(file) – массив, состоящий из трех под-массивов, которые представляют красную, зеленую и синюю компоненты цветного изображения, находящегося в файле file

174. regress(M_{xy} , vz , n) – вектор, запрашиваемый функцией interp для вычисления многочлена n -й степени, который наилучшим образом приближает множества M_{xy} и vz . M_{xy} – матрица $m \times 2$, содержащая координаты x - y , vz – m -мерный вектор, содержащий z координат, соответствующих m точкам, указанным в M_{xy}

175. regress(vx , vy , n) – возвращает вектор, требующий interp для вычисления многочлена n -й степени, который наилучшим образом приближает данные из vx и vy , vx – m -мерный вектор, содержащий координаты x , vy – m -мерный вектор, содержащий координаты y , соответствующие m точкам, определенным в vx

176. relax($M1$, $M2$, $M3$, $M4$, MS , A , U , x) – квадратная матрица решения уравнения Пуассона

177. reverse(v) – перевернутый вектор v

178. rexp(m , r) – вектор m случайных чисел, имеющих экспоненциальное распределение, $r > 0$ является частотой

179. rF(m , $d1$, $d2$) – вектор m случайных чисел, имеющих распределение Фишера, $d1$, $d2 > 0$ определяют степени свободы

180. rgamma(m , s) – вектор m случайных чисел, имеющих гамма-распределение, $s > 0$ – параметр формы

181. rgeom(m , p) – вектор m случайных чисел, имеющих геометрическое распределение, $0 < p \leq 1$

182. $\text{rkadapt}(v, x1, x2, \text{acc}, n, F, k, s)$ – матрица, содержащая таблицу значений решения задачи Коши на интервале от $x1$ до $x2$ для системы обыкновенных дифференциальных уравнений, вычисленных методом Рунге-Кутта с переменным шагом. Правые части системы записаны в F , n – число шагов, k и s – размеры шага

183. $\text{Rkadapt}(v, x1, x2, n, F)$ – матрица решений методом Рунге-Кутта (с переменным шагом) системы обыкновенных дифференциальных уравнений, правые части которых записаны в символьном векторе F , на интервале от $x1$ до $x2$; n – число шагов

184. $\text{rkfixed}(v, x1, x2, n, F)$ – матрица решений методом Рунге-Кутта системы обыкновенных дифференциальных уравнений, правые части которых записаны в символьном векторе F , на интервале от $x1$ до $x2$; n – фиксированное число шагов

185. $\text{rlnorm}(m, \mu, \sigma)$ – вектор m случайных чисел, имеющих нормальное логарифмическое распределение, в котором μ – логарифм среднего значения, $\sigma > 0$ – логарифм стандартного отклонения

186. $\text{rlogis}(m, l, s)$ – вектор m случайных чисел имеющих последовательное распределение, в котором l – локализационный параметр и $s > 0$ – параметр шкалы

187. $\text{rnbinom}(m, n, p)$ – вектор m случайных чисел, имеющих негативное биномиальное распределение. $0 \leq p \leq 1$, n – целое число, которое удовлетворяет условию $n > 0$

188. $\text{rnd}(x)$ – псевдослучайное число в диапазоне от нуля до x

189. $\text{rnorm}(m, \mu, \sigma)$ – вектор m случайных чисел, имеющих нормальное распределение

190. $\text{root}(\text{expr}, \text{var})$ – значение переменной var , при которой выражение expr равно нулю (в пределах точности TOL)

191. $\text{rows}(A)$ – число строк в матрице A

192. $\text{rpois}(m, \lambda)$ – вектор m случайных чисел, имеющих распределение Пуассона. $\lambda > 0$

193. $\text{rref}(A)$ – ступенчатый вид матрицы A

194. $\text{rsort}(A, n)$ – сортировка матрицы A по строке n (перестановка столбцов по возрастанию значений элементов в строке n)

195. $\text{rt}(m, d)$ – вектор m случайных чисел, имеющих распределение t -Стюдента, $d > 0$

196. $\text{runif}(m, a, b)$ – вектор m случайных чисел, имеющих равномерное распределение, в котором b и a – границы интервала и $a < b$

197. $\text{rweibull}(m, s)$ – вектор m случайных чисел, имеющих распределение Вейбулла, в котором $s > 0$ и является параметром формы

198. $\text{sbval}(v, x1, x2, F, L, S)$ – установка начальных условий для краевой задачи, определенной в символьном векторе F , вектор v – начальные условия на интервале $x1, x2$

199. $\text{sec}(z)$ – секанс

200. $\text{sech}(z)$ – гиперболический секанс

201. $\sin(z)$ – синус

202. $\sinh(z)$ – гиперболический синус

203. $\text{slope}(vx, vy)$ – коэффициент b линейной регрессии $y = a + b \cdot x$ векторов vx и vy

204. $\text{sort}(v)$ – сортировка элементов вектора v по убыванию

205. $\text{stack}(A, B)$ – множество, сформированное путем расположения A над B . Множества A и B должны иметь одинаковое число столбцов

206. $\text{stdev}(v)$ – стандартное отклонение элементов вектора v

207. $\text{stiffb}(v, x1, x2, \text{acc}, n, F, J, k, s)$ – матрица решений stiff-дифференциального уравнения, записанного в F и функции Якобиана J , v – вектор начальных значений на интервале $[x1, x2]$; используется метод Bulirsch-Stoer с переменным шагом

208. $\text{Stiffb}(v, x1, x2, n, F, J)$ – матрица решений stiff-дифференциального уравнения, записанного в F , и функции Якобиана J , v – вектор начальных значений на интервале $[x1, x2]$; используется метод Bulirsch-Stoer

209. $\text{stiff}(v, x1, x2, \text{acc}, n, F, J, k, s)$ – матрица решений stiff-дифференциального уравнения, записанного в F и функции Якобиана J . v – вектор начальных значений на интервале $[x1, x2]$; используется метод Розенброка с переменным шагом

210. $\text{Stiff}(v, x1, x2, n, F, J)$ – матрица решений stiff-дифференциального уравнения, записанного в F и функции Якобиана J . v – вектор начальных значений на интервале $[x1, x2]$; используется метод Розенброка

211. $\text{submatrix}(A, ir, jr, ic, jc)$ – блок матрицы A , состоящий из элементов, общих для строк от ir до jr и столбцов от ic до jc . Для того чтобы сохранить порядок строк и (или) столбцов, нужно быть уверенным в том, что $ir \geq jr$ и $ic \geq jc$, в противном случае порядок строк и (или) столбцов будет изменен

212. $\text{str2num}(S)$ – численная константа, образованная путем обращения знаков в из S в число. Знаки S должны составлять реальное, комплексное число с плавающей запятой или число с е-форматом. Пробелы игнорируются.

213. $\text{str2vec}(S)$ – вектор с ASCII-кодами, соответствующий значениям строки S
214. $\text{stlen}(S)$ – число знаков в строке S
215. $\text{substr}(S, m, n)$ – подстрока S , начинающаяся со знаков в позиции m и имеющая самое большее n знаков, $m, n \geq 0$.
216. $\text{supsmoot}(vx, vy)$ – n -мерный вектор, сглаживающий зависимость y от x . Значения y и x в векторах vy и vx
217. $\text{svd}(A)$ – сингулярное разложение матрицы A размером $n \cdot m$: $A = U \cdot S \cdot V^T$, где U и V – ортогональные матрицы размером $m \cdot m$ и $n \cdot n$ соответственно. S – диагональная матрица, на диагонали сингулярные числа матрицы A
218. $\text{svds}(A)$ – вектор, содержащий сингулярные числа матрицы A размером $m \cdot n$, где $m \geq n$
219. $\text{tan}(z)$ – тангенс
220. $\text{tanh}(z)$ – гиперболический тангенс
221. $\text{tr}(M)$ – расположенные на главной диагонали элементы квадратной матрицы M (след матрицы)
222. $\text{until}(\text{выражение 1}, \text{выражение 2})$ – выражение 1, пока выражение 2 отрицательное
223. $\text{var}(v)$ – вариация элементов вектора v
224. $\text{vec2str}(v)$ – строка образованная конвертированием вектора v в ASCII-кодам к знакам. Элементы v должны быть целыми числами в интервале от 0 до 255
225. $\text{wave}(v)$ – дискретное волновое преобразование действительных чисел с использованием 4-коэффициентного волнового фильтра Добиши. Вектор v должен содержать 2^n действительных значений, где n – целое число
226. $\text{WRITE}(\text{file})$ – отдельное значение, записанное в файл данных под именем file
227. $\text{WRITEBMP}(\text{file})$ – шкала яркости выходного файла матрицы BMP
228. $\text{WRITEPRN}(\text{file})$ – вывод матрицы в файл file
229. $\text{WRITERGB}(\text{file})$ – цветной массив BMP битов, выведенный из массива, образованного путем слияния трех массивов, дающих красное, зеленое и синее значения, которые формируют массив битов
230. $Y_0(x)$ – функции Бесселя второго рода нулевого порядка; x – действительное и положительное число; m – от 0 до 100
231. $Y_1(x)$ – функции Бесселя второго рода первого порядка; x – действительное и положительное число; m – от 0 до 100

232. $Y_n(m, x)$ – m -й порядок функции Бесселя второго рода; x – действительное и положительное число; m – от 0 до 100

233. $\delta(x, y)$ – символ Кронекера (1, если $x=y$, и 0, если $x \neq y$; x и y – целочисленные величины)

234. $\varepsilon(i, j, k)$ – полностью асимметричный тензор размерности три. i, j и k должны быть целыми числами от 0 до 2 (или между ORIGIN и ORIGIN (2, если ORIGIN \neq 0). Результат равен 0, если любые два равны, 1 – если три аргумента являются четной перестановкой (0, 1, 2), и минус 1, если три аргумента являются перестановкой (0, 1, 2), кратной 2 и не кратной 4

235. $\Gamma(z)$ – гамма-функция

236. $\Phi(x)$ – 1, если $x \geq 0$, и 0 в противном случае (функция Хевисайда)

Приложение 4

Предопределенные переменные

Ниже приведены предопределенные переменные MathCAD с их значениями по умолчанию.

Значение	Переменная
$\pi = 3.14159$	Число π . В численных расчетах MathCAD использует значение π с учетом 15 значащих цифр, В символьных вычислениях π сохраняет свое точное значение. Чтобы напечатать π , нажмите Ctrl-P
$e = 2.71828$	Основание натуральных логарифмов. В численных расчетах MathCAD использует значение e с учетом 15 значащих цифр. В символьных вычислениях e сохраняет свое точное значение
∞	Бесконечность. В численных расчетах это заданное большое число (10^{307}). В символьных вычислениях – бесконечность. Чтобы напечатать ∞ , нажмите Ctrl-Z
$\% = 0.01$	Процент. Используйте его в выражениях, подобных 10%, или как масштабирующий множитель в поле, отводимом для единиц размерности
$TOL = 10^{-3}$	Допускаемая погрешность для различных алгоритмов аппроксимации (интегрирования, решения уравнений и т. д.)
$ORIGIN = 0$	Начало массива. Определяет индекс первого элемента массива
$PRNCOLWIDTH = 8$	Ширина столбца, используемая при записи файлов функцией <i>WRITEPRN</i>
$PRNPRECISION = 4$	Число значащих цифр, используемых при записи файлов функцией <i>WRITEPRN</i>
$FRAME = 0$	Используется в качестве счетчика при создании анимаций

Приложение 5

Окончания чисел

В таблице приведены допустимые в MathCAD окончания чисел и их истолкование. Числом считается строка цифр, которая может оканчиваться на одно из приведенных буквенных окончаний.

Окончание	Примеры	Толкование
i, j	$4i$ $1i$ $3+1.5j \cdot 10^{-2}$	Мнимая единица
H, h	$0aH$ $8BC h$	Шестнадцатичное представление
O, o	$757O$ $100o$	Восмеричное представление
L, l	$1L$ $-2.54l$	Стандартная единица длины
M, m	$1M$ $2.2m$	Стандартная единица массы
T, t	$1T$ $3600t$	Стандартная единица времени
Q, q	$1Q$ $-100q$	Стандартная единица заряда
K, k	$1K$ $-273k$	Стандартная единица абсолютной температуры

Приложение 6

Алфавитный список сообщений об ошибках

array size mismatch – несоответствие размера массива
cannot be defined – не может быть определено
cannot take subscript – не содержит верхних (нижних) индексов
definition stack overflow – переполнение стека определений
did not find solution – решение не найдено
dimension to pop real power – размерность массива не целое число
domain error – ошибка области определения
duplicate – дублирование
equation too large – слишком большое выражение
error in constant – ошибка в константе
error in list – ошибка в списке
error in solve block – ошибка в блоке
file error – ошибка файла
file not found – файл не найден
illegal array operation – неверная операция с массивом
illegal context – неверный контекст
illegal factor – неверный множитель
illegal function name – неверное имя функции
illegal ORIGIN – неверное употребление ORIGIN
illegal range – неправильный диапазон
illegal tolerance – некорректная точность аппроксимации
incompatible units – несовместимые единицы
index out of bounds – индекс вне границ
interrupted – прервано
invalid order – неверный порядок
list too long – длинный входной список
misplaced comma – неуместная запятая
missing operand – пропущенный операнд
missing operator – пропущенный знак операции
must be 3-vector – должно быть трехмерным вектором
must be array – должно быть массивом
must be dimensionless – должно быть безразмерным
must be increasing – должно быть возрастающим

must be integer – должно быть целым
must be nonzero – должно быть ненулевым
must be positive – должно быть положительным
must be range – должен быть диапазон
must be real – должно быть вещественным
must be scalar – должно быть скаляром
must be vector – должно быть вектором
nested solve block – следующий блок решения
no matching Given – нет соответствующего
Given no scalar value – не скалярная величина
not a name – не является именем
not converging – не конвертируется
only one array allowed – допустим только один массив
overflow – переполнение
significance lost – потеряны значащие цифры
singularity – деление на нуль
stack overflow – переполнение стека
subscript too large – слишком большой нижний индекс
too few arguments – слишком мало аргументов
too few constraints – слишком мало ограничений
too few elements — слишком мало элементов
too few subscripts – мало нижних индексов
too large to display – слишком велико, чтобы отобразить
too many arguments – слишком много аргументов
too many constraints – слишком много ограничений
too many points – слишком много точек
too many subscripts – слишком много индексов
undefined – не определено
unmatched parenthesis – дисбаланс скобок
wrong size vector – неверный размер вектора

Приложение 7

Сообщения об ошибках

Диагностические сообщения об ошибках в математических выражениях появляются при попытках ввода, обработки или вычисления выражения, в котором MathCAD обнаруживает ошибку.

Если MathCAD находит ошибку при попытке вычисления функции, определенной пользователем, он помечает сообщением об ошибке имя функции, а не ее определение. В этом случае проверьте определение функции, чтобы понять, что вызвало ошибку.

Вложенные блоки – ключевое слово *Given* использовано дважды в строке без последующих *Find* или *Minerr*. MathCAD не разрешает вложенные блоки решения уравнений, хотя можно определить функции через блоки решения уравнений и затем использовать их в других блоках решения уравнений.

Диапазон недопустим – попытка использования дискретного аргумента внутри блока решения уравнений.

Дисбаланс скобок (unmatched parenthesis) – вы ввели или пытались вычислить выражение, содержащее левую скобку без соответствующей ей правой. Исправьте выражение, удалив левую скобку или поставив в нужном месте правую.

Длинное выражение в символах – результат символьного преобразования настолько длинен, что не может быть помещен в рабочий документ.

Длинный входной список (list too long) – введено слишком много элементов в списке, разделенном запятыми. Это может произойти при попытке вывести на график больше выражений, чем допускается MathCAD, или при попытке создать таблицу с более чем пятьюдесятью элементами.

Должен быть диапазон (must be range) – что-либо, не являющееся дискретным аргументом, использовано в месте, где он требуется, например в качестве индекса для суммирования. Индекс для суммирования располагается под знаком суммы и должен быть предварительно определен как дискретный аргумент.

Должна быть квадратной – это сообщение об ошибке отмечает неквадратную матрицу в операции, в которой требуется квадратная, например при вычислении детерминанта, обращении или при возведении матрицы в степень.

Должно быть безразмерным (must be dimensionless) – указанное выражение имеет размерность, хотя ситуация требует, чтобы оно было безразмерным.

Единицы измерения нельзя использовать для аргументов некоторых функций (например, \cos и \ln) или в показателе степени. Например, выражение $\cos(1L)$ является недопустимым.

Должно быть вектором (must be vector) – это сообщение отмечает скаляр или матрицу в операции, требующей векторный аргумент.

Должно быть вещественным (must be real) – мнимое или комплекснозначное выражение использовано там, где MathCAD требует вещественнозначное выражение. Например, MathCAD требует вещественнозначные аргументы для некоторых встроенных функций и вещественнозначные индексы.

Должно быть возрастающим (must be increasing) – вектор, элементы которого не расположены в порядке строгого возрастания, использован в качестве аргумента одной из функций $lspline$, $pspline$, $cspline$, $interp$, $linterp$ и $hist$. Первый аргумент этих функций должен быть вектором со строго возрастающими элементами. (При этом следует помнить о том, что, если ORIGIN есть 0, MathCAD включает в число элементов вектора элемент с нулевым индексом, и если он не определен явно, его значение полагается равным нулю).

Должно быть массивом (must be array) – попытка выполнить операцию, которую можно выполнять только на массиве, со скаляром. Например, можно увидеть это сообщение об ошибке при попытке транспонировать число, поскольку в таком контексте операция транспонирования не имеет смысла.

Должно быть многомерным массивом – следует использовать матрицу, имеющую более чем одну строку либо более чем один столбец.

Должно быть ненулевым (must be nonzero) – попытка вычислить встроенную функцию от нуля, хотя для нуля она не определена.

Должно быть положительным (must be positive) – это сообщение отмечает чертеж, в котором одна из границ по оси, использующей логарифмический масштаб, равна нулю или отрицательна. MathCAD может выводить на график вдоль логарифмической оси только положительные значения.

Должно быть скаляром (must be scalar) – векторное или матричное выражение использовано там, где требуется скаляр, например в качестве аргумента функции $identity$.

Должно быть трехмерным вектором (must be 3-vector) – попытка найти векторное произведение от операндов, не являющихся трехмерными векторами. Векторное произведение определено только для векторов с тремя элементами.

Должно быть целым (must be integer) – использовано нецелое выражение там, где требуется целое, например как аргумент функции $identity$ или как индекс, нижний или верхний. (Хотя можно определять дискретные аргументы с

дробными значениями, например: $x:=1, 1.1 \dots 10$ – их нельзя использовать как нижние индексы.).

Допустим только один массив (only one array allowed) – попытка ввести более чем один массив в поле ввода для карты линий уровня. MathCAD в этом случае допускает не более чем один массив, поскольку карта линий уровня может представлять не более чем одну функцию одновременно.

Дублирование (duplicate) – попытка определить одну переменную дважды в одном определении. Это сообщение появляется, когда вы создаете вектор по левую сторону определения и используете одно имя в этом векторе дважды.

Индекс вне границ (index out of bounds) – это сообщение помечает индекс, ссылающийся на несуществующее значение массива. Такое сообщение можно видеть при использовании отрицательного верхнего или нижнего индекса (или индекса, меньшего, чем ORIGIN, если $\text{ORIGIN} > 0$) либо при использовании верхнего или нижнего индекса для ссылки на элемент массива с номером, большим, чем возможно согласно определению в документе.

Мало нижних индексов (too few subscripts) – для матрицы использован один нижний индекс. Указание на элементы матрицы возможно при помощи двух нижних индексов, разделяемых запятой.

Не может быть определено (cannot be defined) – слева от символа определения ($:=$) помещено неопределяемое выражение. MathCAD допускает следующие виды выражений слева от символа определения:

Простое имя переменной: x

– имя переменной с нижним индексом: x_i ;

– имя переменной с верхним индексом: $x^{<1>}$;

– матрица имен переменных, порожденная нажатием [Ctrl] M. Матрица может содержать лишь простые имена переменных или имена переменных с нижними индексами;

– имя функции с аргументами: $f(x, y)$;

– использование других видов выражений некорректно. Если нужно вычислить результат вместо определения переменной, следует поставить знак равенства ($=$) вместо нажатия двоеточия.

Не содержит верхних индексов (cannot take subscript) – верхний индекс использован не для матрицы, а для чего-то другого.

Не содержит нижних индексов (cannot take subscript) – нижний индекс использован не для вектора или матрицы, а для чего-то другого.

Не является именем (not a name) – число или другая комбинация символов использованы там, где MathCAD требует имя, например как второй аргумент

функции *root*. Примеры того, что не является именем: $f(x)$ (функция), 3 (число), $x + 2$ (выражение).

Неверная операция с массивом (illegal array operation) – попытка применить к вектору или матрице функцию или оператор, которым требуются скалярные аргументы. Например, это сообщение можно видеть при попытке применения функции синус к квадратному корню из матрицы. Если же нужно применить оператор или функцию к каждому элементу матрицы, используйте оператор векторизации.

Неверное имя функции (illegal function name) – использовано выражение, которое MathCAD интерпретирует как функцию, но имя функции неверно. Это сообщение появится, например, в случае использования числа как имени функции: 6 (x). Чаще всего оно возникает, если пропущен оператор типа *, что заставляет MathCAD интерпретировать скобки в выражении как признак функции, а не как группирование операций.

Неверное употребление ORIGIN (illegal ORIGIN) – ORIGIN определен через нецелое значение или значение с величиной большей 16 000 000. Это сообщение отмечает первое использование индекса после неверного употребления ORIGIN.

Неверный контекст (illegal context) – оператор или функция использованы в контексте, запрещаемом MathCAD. Например, это сообщение можно видеть в следующих случаях:

- точка с запятой использована где-либо вне корректного определения диапазона (точка с запятой в этом случае выводится на экран как *многоточие*). Можно использовать точку с запятой только в определении диапазона для дискретного аргумента;

- функции *WRITE* или *APPEND* использованы где-либо вне левой стороны определения. Эти функции не могут применяться в выражениях или в правой части определения;

- имя существующей функции использовано как имя переменной или имя существующей переменной использовано как имя функции.

Неверный множитель (illegal factor) – в поле ввода единиц в конце выражения, возвращающего численный результат, введено неверное выражение. Допустимы вещественные ненулевые скалярные значения.

Неверный порядок (invalid order) – отмечает попытку вычислить производную с указанным порядком, который не является целым числом от 0 до 5 включительно.

Неверный размер вектора (wrong size vector) – это сообщение указывает на функцию преобразования Фурье, аргумент которой имеет число элементов, отличное от допустимого. *fft* требует в качестве аргумента вектор с количеством элементов $2n$, где n – целое число, большее 1. *ifft* требует вектор с $1+2n$ элементами, где n – целое число, большее 0. Если *ORIGIN* равен нулю, MathCAD автоматически включает элемент с нулевым индексом как компоненту вектора-аргумента.

Некорректная точность аппроксимации (illegal tolerance) – это сообщение отмечает выражение, использующее TOL интеграл, или вхождения *Root*, *Find* или *Minerr*, для которых $TOL \gg 1$ или $TOL \ll 0$. Для устранения этой ошибки нужно где-либо выше отмеченного выражения установить значение TOL между нулем и единицей.

Неопределенная размерность – выражение с единицами измерения возводится в степень, включающую дискретный аргумент или вектор. MathCAD не может определить размерность результата, который будет изменяться в зависимости от показателя степени. Если выражение имеет размерность, его можно возводить только в степень с фиксированным вещественным показателем.

Не определено (undefinet) – показанное в негативном изображении имя функции или переменной не определено. Чтобы его определить, введите имя переменной с последующим двоеточием (:) и выражение или число, ее определяющее. Это сообщение часто означает, что для определения переменной использован знак равенства (=) вместо двоеточия. Для создания определения следует использовать двоеточие. Если используется знак равенства, MathCAD считает, что нужно *вычислить* значение переменной. Это сообщение также появляется при некорректном использовании переменной в глобальном определении. Если переменная используется в правой части глобального определения, она должна быть определена глобально *выше* него. Если используется локально определенная переменная или переменная, глобальное определение которой находится ниже места ее использования, MathCAD отмечает, что переменная не определена. Сообщение *<не определено>* часто указывает на то, что где-то выше в рабочем документе содержится ошибка. Если определение некорректно, то ниже в документе любые выражения, зависящие от этого определения, показываются в негативном изображении.

Неправильный диапазон (illegal range) – дискретный аргумент определен неправильно. При определении диапазона следует использовать одну из следующих форм записи:

Rval:=n1 .. n2 ;

$Rval:=n1, n2 \dots n2$.

Это набирается нажатием клавиш $Rval:n1;n2$ и $Rval:n1,n2;n2$ соответственно. В определении диапазона допустимо использовать максимум одну запятую и одну точку с запятой. Если используется вторая форма записи, величина $n2$ должна лежать между значениями $n1$ и $n3$, но не равняться $n1$.

Нескалярная величина (no scalar value) – вектор или выражение, содержащее дискретный аргумент, используются там, где требуется скалярная величина. Например, можно увидеть это сообщение при попытке ввести равенство вида $x:=i$, если i – дискретный аргумент. Нельзя определить один дискретный аргумент через другой непосредственно, для этого следует использовать выражения, подобные x_i . Данная ошибка часто возникает при построении графиков, если ввести в поле ввода имя вектора x вместо x_i .

Несовместимые единицы (incompatible units) – отмечает выражение, в котором складываются, вычитаются или выполняются иные операции с выражениями, имеющими различную размерность. Например, это сообщение об ошибке можно видеть при попытке:

- сложить или вычесть два выражения, имеющие различную размерность, например $3 \text{ кг} + 5 \text{ сек}$;
- создать вектор, матрицу или таблицу, в которой не все элементы имеют одинаковую размерность;
- создать чертеж, в котором два выражения, имеющие различную размерность, откладываются по одной оси.

Несовпадение размеров массивов (array size mismatch) – попытка произвести операцию с векторами или с матрицами, размеры которых не подходят для этой операции. Многие операции требуют, чтобы их векторные аргументы были одного размера, например произведение или функции *linterp* и *corr*. Сложение и вычитание векторов и матриц тоже требуют соответствия размерности. Умножение матриц требует, чтобы количество столбцов первой матрицы совпадало с количеством строк второй.

Нет соответствующего Given (no matching Given) – это сообщение указывает на функции *Find* или *Minerr* без соответствующего им слова *Given*. Каждый блок решения уравнений, начинающийся со слова *Given*, должен оканчиваться словами *Find* или *Minerr*.

Неуместная запятая (misplaced comma) – запятая использована там, где ее не должно быть. Можно использовать запятую в одном из следующих случаев:

- для разделения аргументов функций;

- для разделения первых двух элементов диапазона в определении дискретного аргумента;
- для разделения величин, откладываемых на чертеже вдоль одной оси;
- для разделения элементов в таблице ввода;
- для разделения нижних индексов элемента матрицы.

Использование запятой для любых других целей в MathCAD недопустимо.

Особенность – попытка вычислить функцию или выполнить операцию с недопустимым значением. Например, это сообщение можно видеть при делении на ноль или попытке обратить вырожденную матрицу (с нулевым определителем).

Отсутствует сходимость – MathCAD не способен вычислить результат интегрирования, дифференцирования, функции *root*, *Find* или *Minerr* с требуемой точностью. Для дополнительной информации см. описания соответствующих операторов и функций.

Ошибка в блоке (error in solve block) – можно видеть это сообщение при вычислении пользовательской функции, выражаемой через блок решения уравнений, содержащий ошибку. Для устранения данной ошибки устраните ошибку в блоке решения уравнений. Если использовать блок решения уравнений непосредственно, не определяя через него функцию, можно получить детализированное диагностическое сообщение.

Ошибка в константе (error in constant) – MathCAD интерпретирует указанное выражение как некорректную константу. MathCAD воспринимает все начинающееся с цифры как константу. Если ввести цифру и непосредственно за ней несколько букв, MathCAD интерпретирует это как некорректную константу. Полный список всех возможных корректных форм констант приведен в разделе «Окончания чисел» приложения.

Ошибка в списке (error in list) – указанная функция содержит некорректный список аргументов. Правильное определение функции начинается таким образом: $f(x, y, z \dots) :=$

Список аргументов в скобках может состоять из одного или нескольких имен, разделенных запятой. Любой другой вид списка неправилен. Это сообщение об ошибках появляется также, если создан недопустимый список в другом контексте, например в списке выражений для оси ординат графика.

Ошибка области определения (domain error) – попытка вычислить значение функции, имеющей аргумент, выходящий за область определения. Например, попытка вычислить $\ln(0)$.

Ошибка файла (file error) – система столкнулась с ошибкой при чтении файла с помощью функции *READ* или *READPRN*.

Переполнение стека определений (definition stack overflow) – использовано слишком много вложенных функций.

Переполнение стека (stack overflow) – вычисление выражения привело к переполнению внутреннего стека MathCAD. Это может быть результатом слишком сложного выражения или рекурсивного определения функции.

Переполнение (overflow) – попытка вычислить выражение, которое превосходит наибольшее число, которое может быть представлено MathCAD (примерно 10^{307}). Это может случиться не только когда велик сам по себе конечный результат, но и в случае превышения этого предела любым промежуточным результатом.

Потеряны значащие цифры (significance lost) – это сообщение отмечает попытку вывести функцию от величины, которая лежит за пределами диапазона, где значение функции может быть вычислено точно. Например, оно появится при попытке вычислить $\sin(10^{100})$. Поскольку величина $\sin(10^{100})$ зависит от совершенно определенных цифр числа 10^{100} , то любое значение, которое MathCAD сможет вернуть, не будет иметь значащих цифр. Вместо возвращения результата, точность которого не обоснована, MathCAD выдает данное сообщение.

Прервано (interrupted) – вы прервали MathCAD нажатием клавиши *Esc* при выполнении вычислений. Для пересчета помеченного выражения щелкните мышью на выражении и нажмите *F9*.

Пропущенный знак операции (missing operator) – в выражении или в уравнении пропущен один из знаков операции.

Пропущенный операнд (missing operand) – в выражении пропущен один из операндов. Например, это сообщение можно видеть при вводе знака плюс без ввода слагаемых и последующем нажатии знака равенства. MathCAD показывает поле ввода (маленький прямоугольник) на месте пропущенного операнда.

Размерность в не вещественной степени – выражение с единицами измерений возведено в комплекснозначную или в мнимую степень. Если выражение имеет размерность, оно может быть возведено только в вещественнозначную степень, иначе MathCAD не может определить единицы, в которых выражен результат.

Решение не найдено (did not find solution) – MathCAD не нашел решения системы уравнений. Чтобы блок решения уравнений выдал в качестве решения приближающий результат, используйте функцию *Minerr* вместо функции *Find*.

Слишком большое выражение (equation too large) – для вычисления в MathCAD введено слишком большое выражение. Разделите выражение на два или более подвыражений.

Слишком большой нижний индекс (subscript too large) – попытка использовать нижний индекс, превышающий пределы, допускаемые MathCAD.

Слишком велико, чтобы отобразить (too large to display) – попытка вывести вектор или матрицу размера больше, чем допускается MathCAD.

Слишком мало аргументов (too few arguments) – указанное выражение содержит функцию со слишком малым количеством аргументов. Для встроенных функций число аргументов фиксировано. Для функций пользователя число параметров зависит от определения, сделанного в рабочем документе.

Слишком мало ограничений (too few constraints) – это сообщение указывает на *Find* или *Given* с количеством ограничений, меньшим числа переменных. Добавьте несущественные ограничения или уменьшите число переменных, относительно которых ищется решение.

Слишком мало элементов (too few elements) – это сообщение указывает на преобразование Фурье, кубический сплайн или функцию линейной интерполяции, применяемую для вектора со слишком малым количеством компонентов. Преобразование Фурье и обратное к нему требуют как минимум четыре элемента вектора.

Слишком много аргументов (too many arguments) – указанное выражение содержит функцию со слишком малым количеством аргументов. Для встроенных функций число аргументов фиксировано. Для функций пользователя число параметров зависит от определения, сделанного в рабочем документе.

Слишком много индексов (too many subscripts) – использовано два или более нижних индекса для вектора либо три или более индекса для матрицы.

Слишком много ограничений (too many constraints) – в блоке решения уравнений используются более пятидесяти ограничений.

Слишком много точек (too many points) – попытка вывести на график точек больше, чем MathCAD может обработать для одного графика.

Слишком много файлов – открыто слишком много файлов с использованием таких функций доступа к файлам, как *WRITEPRN*, *READPRN* или других функций этого типа. Одновременно таким образом может быть открыто не более 30 файлов. Выберите команду *Присоединить к файлу* из меню *Файл*, введи-

те имя одной из используемых файловых переменных и нажмите «Отсоединить».

Только символьный оператор – попытка получить численный результат у выражения, которое должно быть вычислено только символьно. Некоторые операторы должны вычисляться только символьно.

Файл не найден (file not found) – система не нашла файла данных, указанного в качестве параметра для функции *READ* или *READPRN*, либо для импорта в графическую область.

Учебное электронное текстовое издание

Черных Илья Викторович

**ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА *MATHCAD 2001i*
ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ**

Редактор *К.Б. Позднякова*
Компьютерная верстка *А.А. Гребенщикова*

Рекомендовано РИС ГОУ ВПО УГТУ-УПИ
Разрешен к публикации 12.05.06.
Электронный формат – PDF
Формат 60×90 1/8

Издательство ГОУ ВПО УГТУ-УПИ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19
e-mail: sh@uchdep.ustu.ru

Информационный портал
ГОУ ВПО УГТУ-УПИ
<http://www.ustu.ru>