



*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования*

**«Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана»  
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)**

---

## **Современные информационные технологии в автомобилестроении**

### **Лекция 2 Введение в MathCAD**

*Составил доцент кафедры «Колесные машины», к.т.н.*

**Карташов Александр Борисович**



# Введение

Mathcad — система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением, отличается легкостью использования и применения для коллективной работы

Mathcad в современном виде не предназначен и для программирования сложных задач — для этого есть система Matlab, языки программирования Fortran и C++. Он создавался как мощный микрокалькулятор, позволяющий легко справляться с рутинными задачами инженерной практики, ежедневно встречающимися в работе: решение алгебраических или дифференциальных уравнений с постоянными и переменными параметрами; анализ функций, поиск их экстремумов; численное и аналитическое дифференцирование и интегрирование; вывод таблиц и графиков при анализе найденных решений.

Главными достоинствами Mathcad и его колоссальным преимуществом перед другими расчетными средствами являются легкость и наглядность программирования задачи, отображение сложных математических выражений в том виде, в каком они обычно записываются на листе бумаги, то есть отсутствие специального языка программирования, простота использования, возможность создания средствами Mathcad высококачественных технических отчетов с таблицами, графиками и текстом.



# Информационные источники



<http://exponenta.ru/>

Рекомендованные  
версии MathCAD:

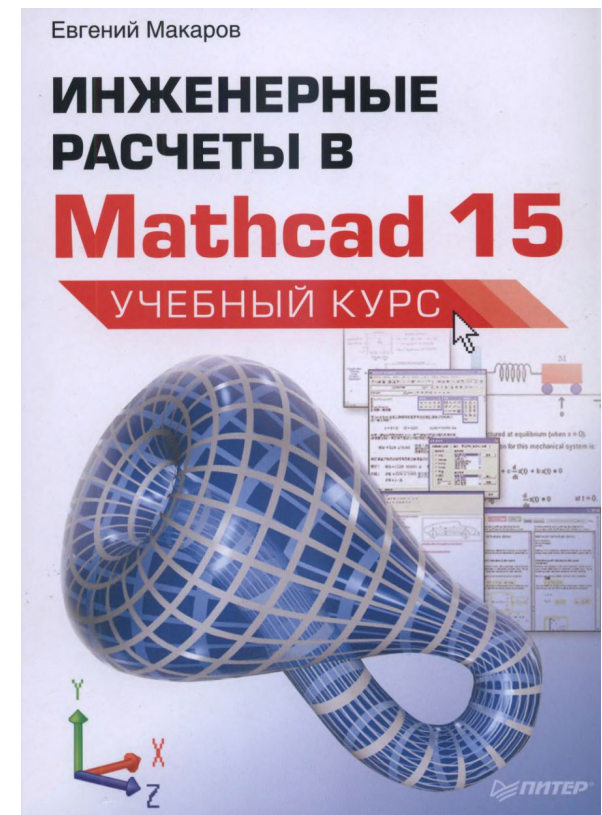
1. MathCAD 11
2. MathCAD 15

**Учебники по MathCAD 2001**

<http://itmu.vsuet.ru/Posobija/MathCAD/INDEX.HTM>

<http://pers.narod.ru/study/mathcad/>

Литература для  
самостоятельного  
изучения

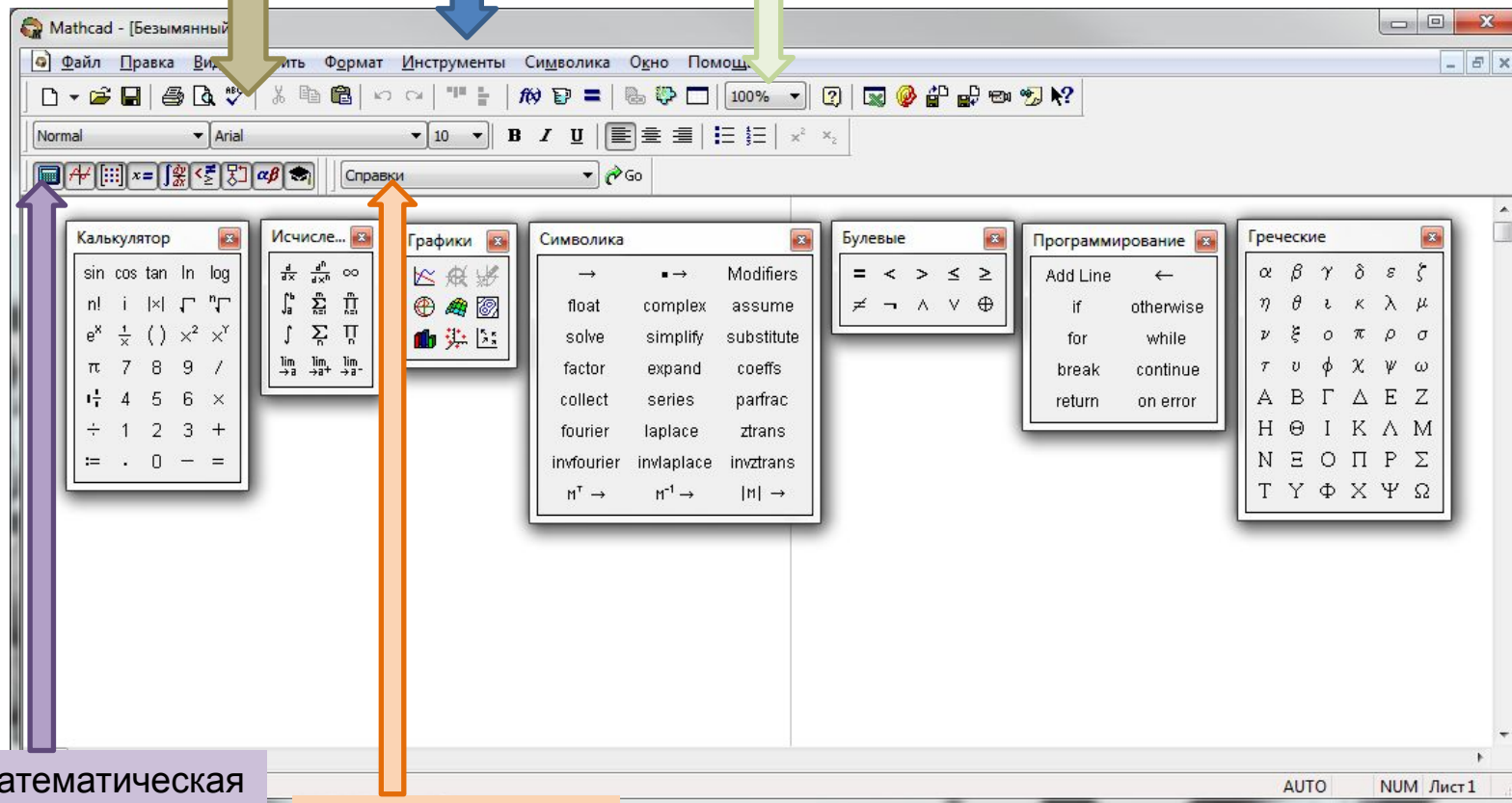




Стандартное меню

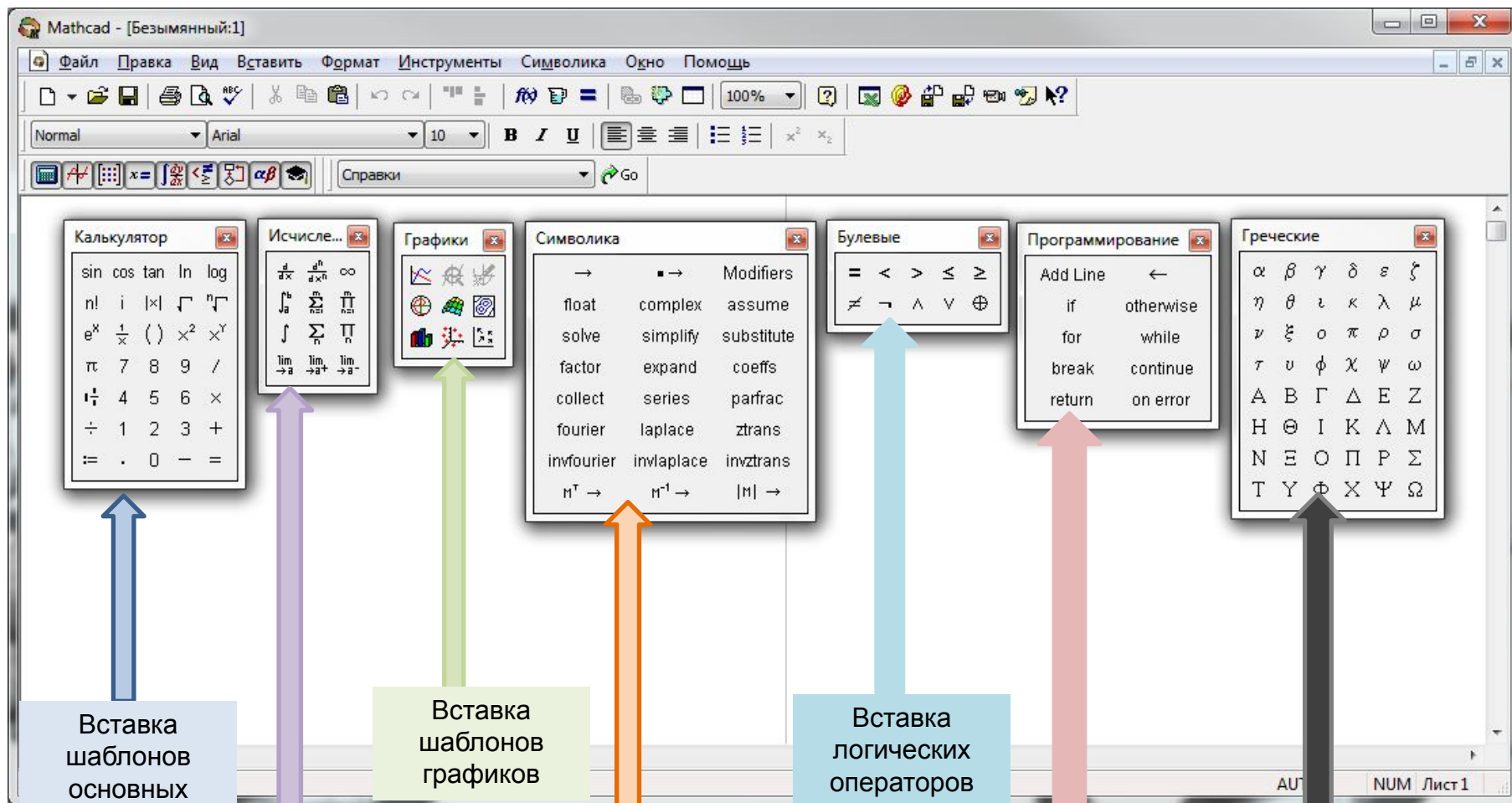
Главное меню

Форматирование  
текста





# Математическая панель



Вставка  
шаблонов  
основных  
математическ  
их операций

Вставка шаблонов  
дифференцирования,  
интегрирования,  
суммирования

Вставка  
шаблонов  
графиков

Вставка  
операторов  
символьных  
вычислений

Вставка  
логических  
операторов

Операторы  
программирования

Греческие буквы



# Построение выражений и их вычисление

Имя выражения (все, что стоит слева от оператора присваивания) может состоять из:

- латинских, русских;
- греческих и других букв;
- цифр, знаков подчеркивания ( ), левого штриха ('), символа процента (%), знака бесконечности (Ctrl+Shift+z).

Имена переменных и функций не могут начинаться с цифры, знака подчеркивания, штриха, символа процента, не могут включать в себя пробелы. Символ бесконечности может быть только первым символом в имени.

Примеры имен в MathCAD

x'	x%	test'	test%
x%	∞x	test%	∞test

Mathcad воспринимает прописные и строчные буквы как различные идентификаторы, то же касается букв, изображенных различными шрифтами, — это разные имена.

A≠a





# Построение выражений и их вычисление

Некоторые имена уже используются Mathcad для встроенных констант, единиц измерения и функций. Имена можно переопределить, но следует учитывать, что это уничтожит их встроенные значения и этими константами и функциями пользоваться будет нельзя. Например:

Значения по умолчанию:  $g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$   $\pi = 3.142$

Переопределение:

$g := 20$

$\pi := 10$

Значение переменной:

$g = 20$

$\pi = 10$

Автоматическое  
предупреждение

Изучение операторов начинаем с оператора присваивания ( $:=$ ). Переходим к работе в MathCAD, панель калькулятор.



# Редактирование объектов. «Цепкие» операторы

«Цепкие» операторы — это возведение в степень, извлечение корня, знаменатель дроби.

надо записать так

$$2^x + a = 42$$

$$\frac{x^2 + y^{0.3}}{\ln(a)} \cdot a + 2 = 116.612$$

$$\sqrt{(x + y)} \cdot \frac{2}{a} - 8 = -7.434$$

забыл нажимать пробелы

$$2^{x+a} = 3.277 \times 10^4$$

$$x^{2+y^{\frac{0.3}{\ln(a) \cdot a+2}}} = 127.696$$

$$\sqrt{x + y \cdot \frac{2}{a-8}} = 2.828$$

$$2^x + a = 34$$



Выход из «цепкого» оператора  
(выделение выражения)

Чтобы выйти из «цепкого» оператора, надо выделить клавишей пробела или клавишей → (стрелка вправо) нужную часть выражения, тогда следующая операция будет относиться ко всему выделенному выражению.





# Работаем в MathCAD

1. Редактирование объектов.
2. Стандартные функции (кнопка  $f(x)$  на панели).

The screenshot displays two panels from the MathCAD software interface. The top panel, titled 'ЧИСЛОВЫЕ КОНСТАНТЫ' (Numerical Constants), shows values for  $e = 2.718$ ,  $\pi = 3.142$ , and  $\infty$ . Below this, three dashed boxes contain mathematical expressions:  $\frac{\pi \cdot e^2}{4} = 5.803$ ,  $\ln(e^2) = 2$ , and  $\int_0^{\infty} 2^{-x} dx = 1.443$ . The bottom panel, titled 'СТАНДАРТНЫЕ ФУНКЦИИ' (Standard Functions), shows variables  $x := 5$  and  $a := 10$ . It contains several function results:  $\ln(e^2) = 2$ ,  $\log(x) = 0.699$ ,  $\exp\left(\frac{a}{\pi}\right) = 24.121$ ,  $\sin\left(\frac{\pi \cdot e^2}{4}\right) = -0.462$ ,  $\sinh\left(\frac{a}{e}\right) = 19.787$ ,  $\tan(a) = 0.648$ ,  $\cot(a) = 1.542$ , and  $\operatorname{atan}(a) = 1.471$ .

3. Числовые константы. Ввод греческих букв.
4. Ввод текста (Вставить> Текстовую область или через пробел).
5. Отключение вычисления математической области.
6. Формат чисел (десятичный, инженерный).

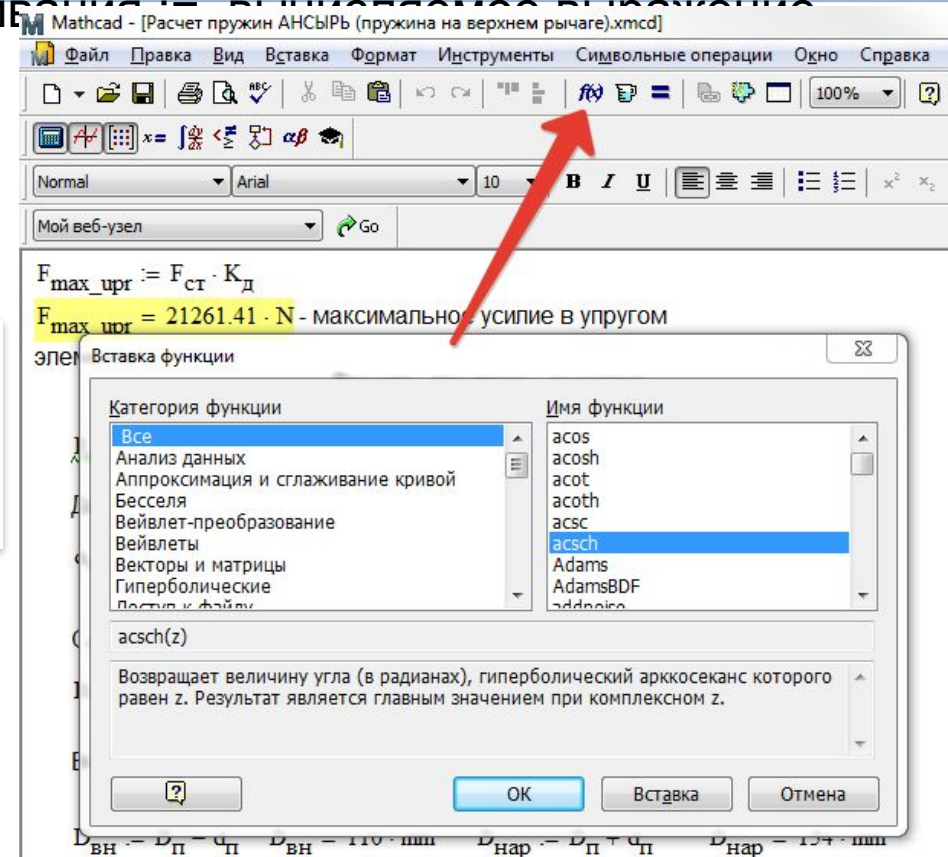


# Функции пользователей

Вид функции пользователя (см.рис.):

- слева название функции (с параметрами в скобках),
- справа, после оператора присваивания

$$\begin{aligned} x &:= 3 & a &:= 0.4 & f(z) &:= \sin\{x \cdot z^a\} & f_1(z) &:= \int_0^z f(z) dz \\ f_2(z) &:= \frac{d}{dz} f(z) & f_3(z) &:= \frac{d^3}{dz^3} f(z) \end{aligned}$$





# Дискретные переменные

Дискретная переменная задает ряд значений переменной, для которых вычисляется функция пользователя. Этот ряд значений функции можно вывести в виде графика или таблицы.

$x := 1, 1.1 \dots 5$

$a := 10$   $b := 5$   $n := 5$  поменяйте  $a, b, n$

$z := 0 \dots 5$   $z1 := 0, 0.2 \dots 1$   $z2 := a, a + \frac{b-a}{n} \dots b$   $z3 := b, b - \frac{b-a}{n} \dots a$

$z =$   $z_1 =$   $z1 =$   $f1(z1) =$   $z2 =$   $f2(z2) =$   $z3 =$   $f3(z3) =$

0	0	0	0	10	0.094	5	-0.106
1	0.141	0.2	0.171	9	0.189	6	-0.064
2	0.729	0.4	0.362	8	0.283	7	-0.034
3	0.998	0.6	0.514	7	0.362	8	-0.014
4	0.872	0.8	0.617	6	0.406	9	$-5.754 \cdot 10^{-4}$
5	0.542	1	0.669	5	0.384	10	$7.867 \cdot 10^{-3}$

$x =$

1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
1.9
2
2.1
2.2
2.3
2.4
...

Функция ORIGIN задает первый индекс массива

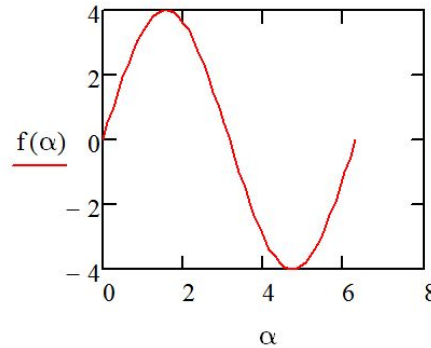


# Построение плоских графиков

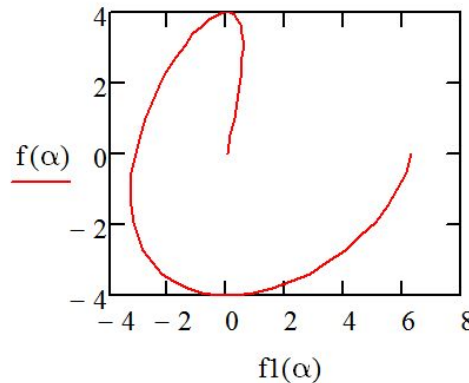
$$r := 4$$

$$\alpha := 0, \frac{2\pi}{50} .. 2 \cdot \pi$$

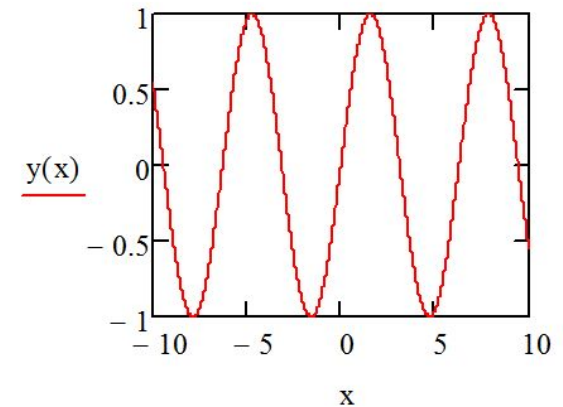
$$f(\alpha) := r \cdot \sin(\alpha)$$



$$fl(\alpha) := \alpha \cdot \cos(\alpha)$$



$$y(x) := \sin(x)$$



Настройка отображения



# Самостоятельная работа

Выполните самостоятельную работу и поработайте с графиками  
приведенных в примерах функций.

вычислить самостоятельно  
и построить графики функций

$$c := 0.5 \quad b := 2$$

$$f(x) := \sin(x) \cdot \cos(x)$$

$$f(x) := e^{-c \cdot x} + b \cdot \sin(c \cdot x)$$

$$f1(x) := \int_c^b f(x) dx$$

$$f2(x) := \frac{d}{dx} f(x)$$

$$f3(x) := \frac{d^2}{dx^2} f(x)$$

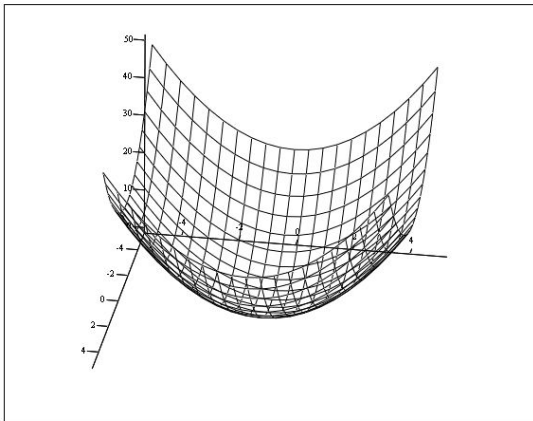


# Построение трехмерных графиков

## Способ №1:

- 1) наберите имя функции двух переменных, знак присвоения значения := и выражение функции;
- 2) установите курсор в то место, где вы хотите построить график;
- 3) в математической панели щелкните мышью на кнопке Graph Toolbar (Панель графиков), изображающей график, затем на Surface Plot (График поверхности).
- На месте курсора появится шаблон трехмерного графика;
- 4) в единственном поле ввода шаблона графика введите имя функции;
- 5) щелкните мышью вне области шаблона. График построен (рис. 1.18, слева).

$$f(x,y) := x^2 + y^2$$



f

## Способ №2:

- 1) с помощью дискретных переменных ввести значения обоих аргументов заданной функции;
- 2) ввести массив, элементами которого являются значения функции, вычисленные при заданных значениях аргументов;
- 3) установить курсор в то место, где вы хотите построить график;
- 4) в математической панели щелкнуть мышью на кнопке, изображающей график, и выбрать трехмерный график. На месте курсора появится шаблон трехмерного графика;
- 5) в единственном поле ввода шаблона графика ввести имя функции; щелкнуть мышью вне области шаблона. График построен.

n := 5

u := 7

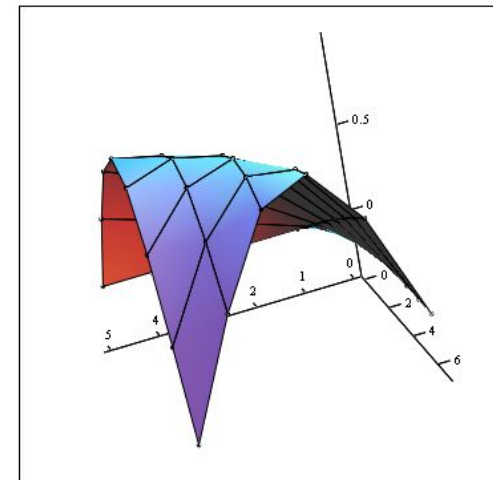
i := 1..n

j := 0..u

$X_i := 0.5 \cdot i$

$Y_j := 0.2 \cdot j$

$Z_{i,j} := \sin(X_i \cdot Y_j)$



Z





# Численное решение уравнений. Функция root

## Функция root

Функция root решает уравнения итерационным методом секущих и поэтому требует задания перед собой начальных значений. Кроме того, функция root, выполняя вычисления методом спуска, находит и выводит только один корень, ближайший к начальному приближению.

Прежде чем решать уравнение, желательно построить график функции  $f(x)$  (рис. 2.5). На графике видно, пересекает ли кривая  $f(x)$  ось абсцисс, то есть имеет ли действительные корни. Если точки пересечения кривой с осью есть,

нужн **нахождение двух корней уравнения**

кажд  $x := 1 \quad x0 := \text{root}(F(x), x) \quad x0 = 1.149$

$x := 5 \quad x0 := \text{root}(F(x), x) \quad x0 = 4.351$

Проверка  $F(x0) = 0$

Нахождение экстремума

$x := 1$  начальное приближение

$x1 := \text{root}\left(\frac{d}{dx}F(x), x\right) \quad x1 = 2.75$

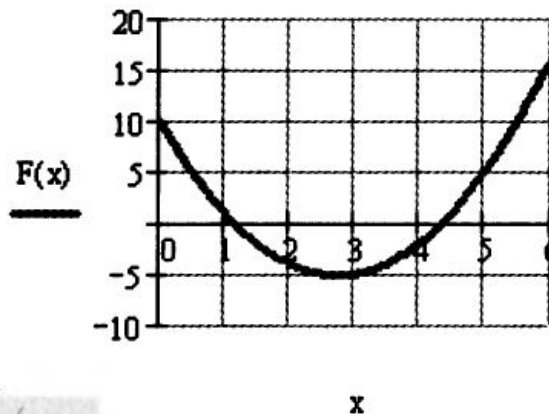
$F(x1) = -5.125$  экстремум

Самостоятельно решить уравнения  
численно, символьно и найти экстремум

$$x^3 - 3x = 0 \quad \ln(e^x - 2) - 3x = 0$$

$$F(x) := 2 \cdot (x - 3)^2 + x - 8$$

и несколько, для нахождения





# Численное решение уравнений. Функция find

В Mathcad системы уравнений решаются с помощью вычислительного блока Given-find. Так как системы уравнений решаются итерационным методом, перед решением необходимо задать начальные приближения для всех неизвестных.

Чтобы решить систему алгебраических уравнений, нужно:

- задать начальные приближения для всех неизвестных, входящих в систему;
- напечатать ключевое слово Given (Дано). Убедитесь, что при печати вы не находитесь в текстовой области. Если нажать клавишу пробела, то математическое выражение становится текстовой областью и слово Given перестает восприниматься как ключевое;
- ввести уравнения и неравенства, входящие в систему, правее и ниже ключевого слова Given. Между левой и правой частями уравнения должен стоять знак равенства. Это не знак присвоения значения, а знак логического равенства. Для его ввода используйте комбинацию клавиш Ctrl+= или выберите его на панели Boolean (Булевы операторы);
- введите любое выражение, содержащее функцию find. При печати слов Given и find можно использовать любой шрифт, прописные и строчные буквы.

## Пример использования функции Given-Find

$$x := 1$$

$$y := 1$$

+

Given

$$x^2 + y^2 = 36$$

$$x + y = 2$$

$$\text{find}(x, y) = \begin{pmatrix} 5.123 \\ -3.123 \end{pmatrix}$$

## Знак логического равенства – Ctrl+=

Самостоятельно решить систему уравнений в близи точки (1,1,1)

$$x^2 + y^2 + z^2 = 9$$

$$x + y - z = 2$$

$$z - x + y = -1$$



# Приближенное решение уравнений. Функция Minerr

Для приближенного решения систем уравнений используется вычислительный блок Given-minerr. Обращение к нему аналогично обращению к блоку Given-find.

Given

$$x^2 + y^2 = 36$$

$$x + y = 10$$

$$\text{minerr}(x, y) = \begin{pmatrix} 4.253 \\ 4.253 \end{pmatrix}$$

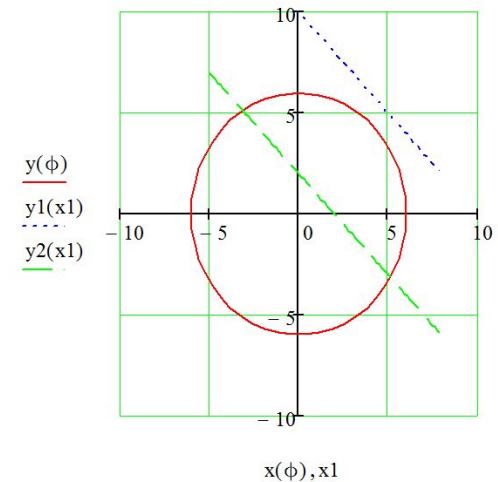
Графическая  
интерпретация применения  
функции Find и Minerr

$$y1(x1) := 10 - x1$$

$$y2(x1) := 2 - x1$$

$$\underline{y}(\phi) := 6 \cdot \sin(\phi)$$

$$\underline{x}(\phi) := 6 \cdot \cos(\phi)$$



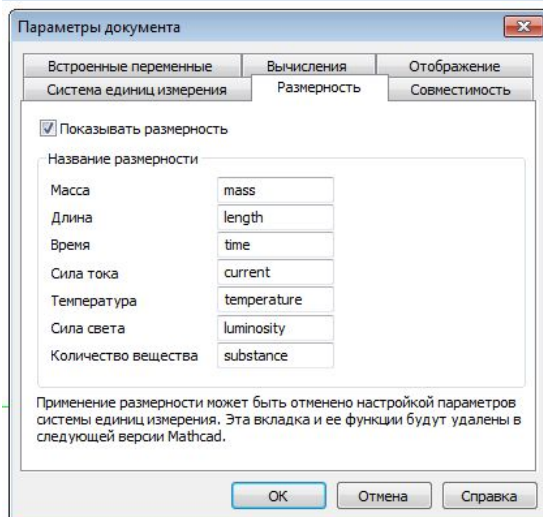


# Работа с размерностями

В Mathcad встроено большое количество единиц измерения. С ними можно обращаться как со встроенными переменными. Чтобы связать единицу измерения с числом, достаточно умножить число на ее наименование.

Перед началом работы с размерными величинами надо установить систему единиц, в которой вы будете работать:

- в главном меню Mathcad выберите Tools ► Worksheet Options ► Unit System (Инструменты ► Параметры документа ► Система единиц).
- в открывшемся диалоговом окне выберите систему единиц, например SI (International). Щелкните на кнопке ОК. Если в диалоговом окне выбрать None (Нет), то никакие размерности в расчете не учитываются.



Ввод размерностей, производных от базовых  
метр := m    кг := kg    сек := s    Н := N    т := 1000 · кг

кН := 1000 · N    Р := 3 · кН    мин := 60 · сек    час := 3600 · s

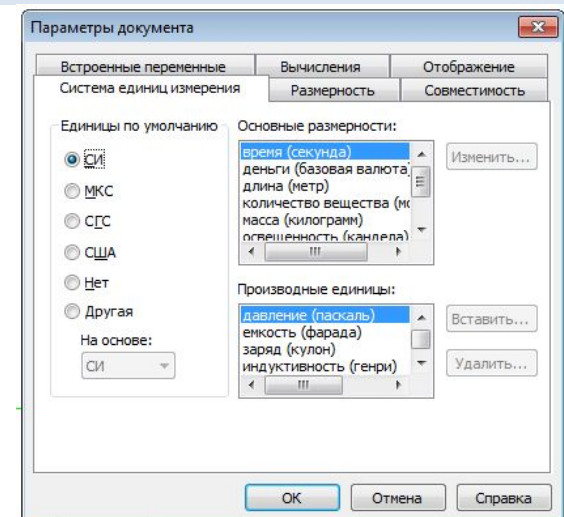
можно и так    мм := mm    мин := min    час := hr    км := km

Ввод величин со стандартными размерностями

a := 2 · m    M := 5000 · kg    t := 120 · s    P := 3000 · N

Ввод величин с производными размерностями

a := 2 · метр    M := 5 · т    t := 2 · мин    P := 3 · кН

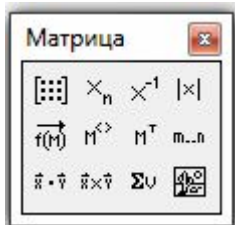




# Работа с векторами и матрицами

Есть три способа создания массива чисел:

1. Заполнение шаблона матрицы, содержащего пустые места ввода чисел, что подходит для ввода небольших массивов (не более 100 элементов) (Ctrl+m).
2. Использование дискретной переменной. Этот метод подходит, когда есть явная формула для вычисления элементов массива.
3. Считывание данных из файлов (функции READPRN('A') и WRITHPRN('A')).



$$A := \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 4 \\ 4 & 5 \\ 5 & 1 \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} 3 & 4 & 5 \\ 4 & 5 & 1 \\ 5 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \quad V := \begin{pmatrix} 12 \\ 11 \\ 10 \\ 9 \\ 8 \end{pmatrix}$$

элемент массива  
 $A_{1,2} = 2$   
 $V_3 = 10$

$$B^{(2)} = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$

Самостоятельно наберите вектор 3 x 1 и матрицу 3 x 2 из любых чисел и с ними проделайте все последующие операции

**Рис. 4.2.** Примеры набора массивов и вывода их элементов



# Определение параметров матрицы

В Mathcad есть встроенные функции для определения параметров матрицы (рис. 4.5):

- $rows(M)$  — число строк в массиве или векторе;
- $cols(M)$  — число столбцов в массиве;
- $last(M)$  — индекс последнего элемента в векторе;
- $max(M)$  и  $min(M)$  — максимальное и минимальное значения элементов в массиве;
- сумма элементов вектора вычисляется нажатием кнопки  $\sum V$  на панели Matrix;
- $tr(M)$  — сумма диагональных элементов квадратной матрицы, называемая следом матрицы, где  $M$  — имя матрицы.

Функции для работы с матрицами

$$A := \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 4 \\ 4 & 5 \\ 5 & 1 \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} 3 & 4 & 5 \\ 4 & 5 & 1 \\ 5 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \quad V := \begin{pmatrix} 12 \\ 11 \\ 10 \\ 9 \\ 8 \end{pmatrix}$$

число строк в массиве  $rows(A) = 5$   $rows(B) = 5$

число столбцов в массиве  $cols(A) = 2$   $cols(B) = 3$

индекс последнего элемента в векторе  $last(V) = 5$

max и min элементы в массиве

$$max(A) = 5 \quad min(A) = 1$$

$$max(V) = 12 \quad min(V) = 8$$





# Образование новых матриц из уже существующих

Рассмотрим встроенные функции для образования новых матриц из уже существующих:

- *augment(A, B)* объединяет матрицы *A* и *B* бок о бок. Матрицы *A* и *B* должны иметь одинаковое число строк;
- *stack(A, B)* объединяет матрицы друг над другом. Матрицы *A* и *B* должны иметь одинаковое число столбцов.
- *submatrix(A, irows, jrows, icols, jcols)* создает матрицу, вырезанную из матрицы *A*. Новая матрица содержит элементы матрицы *A*, вырезаемые от ряда *irows* до ряда *jrows*, от столбца *icols* до столбца *jcols*.

$$\begin{aligned} A &:= \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 4 \\ 4 & 5 \\ 5 & 1 \end{pmatrix} & B &:= \begin{pmatrix} 3 & 4 & 5 \\ 4 & 5 & 1 \\ 5 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} & C &:= \text{augment}(A, B) & C1 &:= \text{submatrix}(C, 1, 2, 1, 3) \\ & & & C2 &:= \text{submatrix}(C, 3, 5, 3, 5) & \text{поменяйте номера} \\ & & & & & \text{строк и столбцов} \\ C &= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 2 & 3 & 4 & 5 & 1 \\ 3 & 4 & 5 & 1 & 2 \\ 4 & 5 & 1 & 2 & 3 \\ 5 & 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} & C1 &= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} & C2 &= \begin{pmatrix} 5 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \\ D &:= \text{stack}(C1, C2) & D &= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \\ 5 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \end{aligned}$$



# Сортировка векторов и

## матриц

В Mathcad имеется несколько встроенных функций для сортировки элементов массива в порядке возрастания или убывания:

- $\text{sort}(a)$  — сортировка элементов вектора в порядке возрастания;
- $\text{reverse}(a)$  — перестановка элементов вектора в обратном порядке;
- $\text{csort}(M, i)$  — перестановка строк матрицы  $M$  в порядке возрастания элементов  $i$ -го столбца;
- $\text{rsort}(M, i)$  — перестановка столбцов матрицы  $M$  в порядке возрастания элементов  $i$ -й строки.

**Функции сортировки**

$$\begin{aligned} V &:= \begin{pmatrix} 12 \\ 5 \\ 10 \\ 9 \\ 8 \end{pmatrix} & \text{sort}(V) &= \begin{pmatrix} 5 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 12 \end{pmatrix} & \text{reverse}(\text{sort}(V)) &= \begin{pmatrix} 12 \\ 10 \\ 9 \\ 8 \\ 5 \end{pmatrix} \\ B &:= \begin{pmatrix} 3 & 4 & 5 \\ 4 & 5 & 1 \\ 5 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} & \text{csort}(B, 2) &= \begin{pmatrix} 5 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 \\ 4 & 5 & 1 \end{pmatrix} & \text{rsort}(B, 5) &= \begin{pmatrix} 3 & 4 & 5 \\ 4 & 5 & 1 \\ 5 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \end{aligned}$$



# Матричные операторы

1. Транспонирование матрицы
2. Вычисления определителя матрицы
3. Нахождение матрицы, обратной заданной.
4. Сложение, вычитание и умножение матриц

Обращение матрицы

$$C^{-1} = \begin{pmatrix} -0.187 & 0.013 & 0.013 & 0.013 & 0.213 \\ 0.013 & 0.013 & 0.013 & 0.213 & -0.187 \\ 0.013 & 0.013 & 0.213 & -0.187 & 0.013 \\ 0.013 & 0.213 & -0.187 & 0.013 & 0.013 \\ 0.213 & -0.187 & 0.013 & 0.013 & 0.013 \end{pmatrix} \quad \text{Проверка } C \cdot C^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Единичная матрица

$E := \text{identity}(5)$

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 5 \\ 4 & 5 & 1 \\ 5 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \\ 5 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix}$$

$$B + D = \begin{pmatrix} 4 & 6 & 8 \\ 6 & 8 & 5 \\ 10 & 2 & 4 \\ 2 & 4 & 6 \\ 4 & 6 & 8 \end{pmatrix}$$

$$B \cdot D^T = \begin{pmatrix} 26 & 38 & 29 & 26 & 38 \\ 17 & 27 & 27 & 17 & 27 \\ 13 & 21 & 30 & 13 & 21 \\ 14 & 20 & 13 & 14 & 20 \\ 20 & 29 & 21 & 20 & 29 \end{pmatrix}$$

$$B - D = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & -3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$B \cdot D = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

не удовлетворяет правилу перемножения матриц

Размерности массива не совпадают.



# Оператор векторизации

В Mathcad существует несколько необычный оператор, называемый оператором векторизации и предназначенный для работы с массивами. Он позволяет выполнить однотипную операцию со всеми элементами массива, например, вычислить  $\cos(a)$ , где  $a$  — матрица углов.

если аргумент вектор, оператор векторизации не нужен

$$U = \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \\ 5 \end{pmatrix} \quad \cos(U) = \begin{pmatrix} -0.99 \\ -0.654 \\ 0.284 \end{pmatrix} \quad U^3 = \begin{pmatrix} 27 \\ 64 \\ 125 \end{pmatrix} \quad e^U = \begin{pmatrix} 20.086 \\ 54.598 \\ 148.413 \end{pmatrix}$$

если аргумент матрица, оператор векторизации нужен

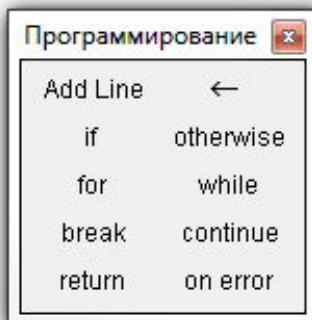
$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 4 \\ 4 & 5 \\ 5 & 1 \end{pmatrix} \quad \xrightarrow{\cos(A)} \quad \begin{pmatrix} 0.54 & -0.416 \\ -0.416 & -0.99 \\ -0.99 & -0.654 \\ -0.654 & 0.284 \\ 0.284 & 0.54 \end{pmatrix}$$
$$\xrightarrow{A^3} \begin{pmatrix} 1 & 8 \\ 8 & 27 \\ 27 & 64 \\ 64 & 125 \\ 125 & 1 \end{pmatrix} \quad \xrightarrow{e^A} \begin{pmatrix} 2.718 & 7.389 \\ 7.389 & 20.086 \\ 20.086 & 54.598 \\ 54.598 & 148.413 \\ 148.413 & 2.718 \end{pmatrix}$$



# Программирование

Выражение-программа состоит из названия выражения, следующего за ним знака присвоения значения и необходимых выражений в правой части, записанных в столбик и объединенных слева вертикальной чертой.

Панель  
программирования



Присваивание значений переменным и константам в программах производится с помощью программного оператора присваивания  $\leftarrow$ , который вводится с панели программирования нажатием кнопки  $\leftarrow$ .

При создании программы, когда этот знак приходится использовать часто, полезно пользоваться клавишей.



# Условный оператор if

## Три способа записи условия в MathCAD

### использование оператора программирования if

$a = 8$     поменяйте  $a$

$y =$ 

if	$a < 3$		
	<table border="0"><tr><td><math>b \leftarrow \sqrt{a}</math></td></tr><tr><td><math>\ln(b)</math></td></tr></table>	$b \leftarrow \sqrt{a}$	$\ln(b)$
$b \leftarrow \sqrt{a}$			
$\ln(b)$			
2 if	$3 \leq a \leq 5$		
otherwise			
	<table border="0"><tr><td><math>c \leftarrow a + 1</math></td></tr><tr><td><math>c^2 - a</math></td></tr></table>	$c \leftarrow a + 1$	$c^2 - a$
$c \leftarrow a + 1$			
$c^2 - a$			

### использование булевых операторов

$$y1 := \left[ \ln(\sqrt{a}) \cdot (a < 3) + 2 \cdot (3 \leq a \leq 5) + \left[ (a + 1)^2 - a \right] \cdot (a > 5) \right]$$

### использование функции if

$$y2 := \text{if} \left[ a < 3, \ln(\sqrt{a}), \text{if} \left[ 3 \leq a \leq 5, 2, (a + 1)^2 - a \right] \right]$$

$$y = 73 \quad y1 = 73 \quad y2 = 73$$





# Операторы цикла. Оператор while

Нахождение первого элемента вектора, большего заданного значения  $K := 1.6$

$j := 1..7$        $v_j := \sqrt[3]{j-1}$       **ORIGIN** := 1

$v^T =$

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	1.26	1.442	1.587	1.71	1.817

$t :=$   $\left| \begin{array}{l} j \leftarrow 1 \\ \text{while } |v_j| \leq K \\ \quad j \leftarrow j + 1 \\ \quad \left( \begin{array}{c} j \\ v_j \end{array} \right) \end{array} \right.$        $j$  - номер элемента

$$t = \left( \begin{array}{c} 6 \\ 1.71 \end{array} \right)$$

**Рис. 9.5.** Применение оператора цикла while



# Операторы цикла. Оператор for

переменная цикла по типу  
дискретной переменной

$$Z := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow 1 \\ \text{for } s \in 1, 1.2..2 \\ \quad \left| \begin{array}{l} X_m \leftarrow \sqrt{s+1} \\ m \leftarrow m+1 \end{array} \right. \\ X \end{array} \right. \quad Z = \begin{pmatrix} 1.414 \\ 1.483 \\ 1.549 \\ 1.612 \\ 1.673 \\ 1.732 \end{pmatrix}$$

переменная цикла - 2 вектора

$$A := \begin{pmatrix} 13 \\ 15 \\ 17 \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$
$$Z1 := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow 1 \\ \text{for } s \in A, B \\ \quad \left| \begin{array}{l} X_m \leftarrow s \\ m \leftarrow m+1 \end{array} \right. \\ X \end{array} \right. \quad Z1 = \begin{pmatrix} 13 \\ 15 \\ 17 \\ 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

**Рис. 9.6.** Применение оператора цикла for



# Операторы break, continue, return

Эти операторы используются для управления работой циклов и всей программы в целом:

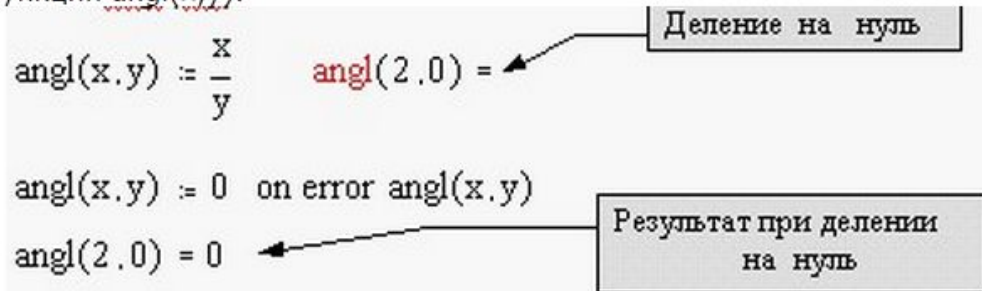
- ❑ **continue** возвращает расчет к началу цикла;
- ❑ **break** обеспечивает выход из цикла и продолжение работы программы;
- ❑ **return** обеспечивает выход из программы.

**Оператор on error.** Этот оператор является обработчиком возникающих при выполнении тех или иных вычислений ошибок и записывается в виде :

< выражение 1 > **on error** < выражение 2 >

и выполняется < выражение 1 >, если при выполнении < выражение 2 > возникает ошибка. Если ошибка не возникает, то выполняется < выражение 2 >.

**Пример 2.16.** Используем оператор **on error** для предотвращения появления ошибки "деление на ноль" при вычислении функции angl(x,y).





# Самостоятельное задание

**Задача 1.** Составим программу которая будет менять местами 2 строки матрицы. Например, в матрице  $M$  нужно поменять местами строки 1 и 2.

$$M := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

Программа:

$$\text{change}(A, i, j) := \left| \begin{array}{l} \text{for } k \in 0.. \text{cols}(A) - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} q \leftarrow A_{i,k} \\ A_{i,k} \leftarrow A_{j,k} \\ A_{j,k} \leftarrow q \end{array} \right. \\ A \end{array} \right.$$



# Самостоятельное задание

Задача 2. Разработать программу, которая упорядочивает массив чисел по возрастанию

$$a := \begin{pmatrix} -10 \\ 2 \\ 7 \\ 4 \\ 9 \end{pmatrix}$$

Программа:

```
Msort(x) :=  $\left\{ \begin{array}{l} k \leftarrow \text{last}(x) \\ \text{for } i \in 1 \dots k - 1 \\ \quad \text{for } j \in k - 1 \dots i \\ \quad \quad \text{if } x_j > x_{j+1} \\ \quad \quad \quad \left\{ \begin{array}{l} Q \leftarrow x_{j+1} \\ x_{j+1} \leftarrow x_j \\ x_j \leftarrow Q \end{array} \right. \end{array} \right.$  \\ x
```



# Обработка экспериментальных данных

В MathCad для считывания и записи данных во внешний файл существуют функции READPRN("A") и WRITHPRN("A").

Внешний  
файл  
данных □

0.01	5.983
0.02	5.73197
0.03	5.9591
0.04	5.917
0.05	6.05601
0.06	5.92563
0.07	6.20813
0.08	5.92863
0.09	6.02494
0.1	5.99671
0.11	5.91272
0.12	5.95514
0.13	6.00087
0.14	6.00047
0.15	6.19624
0.16	5.67367
0.17	5.76179
0.18	5.83498
0.19	5.82599
0.2	5.77493
0.21	5.84641
0.22	5.91032
0.23	6.23963
0.24	5.88868
0.25	5.95068
0.26	5.93619
0.27	6.00027
0.28	5.67937
0.29	5.8649
0.3	5.69328
0.31	5.75431
0.32	5.99557
0.33	5.99135
0.34	5.69737
0.35	5.91964
0.36	5.94825
0.37	6.01238
0.38	6.05968
0.39	6.062
0.4	5.9549
0.41	6.11033
0.42	5.94033
0.43	5.97702
0.44	5.91718
0.45	6.08018
0.46	6.07566
0.47	5.92684
0.48	5.86453
0.49	5.99082
0.5	5.9614
0.51	5.99735
0.52	5.77778
0.53	5.86868
0.54	5.76878
0.55	6.03239
0.56	5.92315
0.57	5.76082
0.58	5.88551
0.59	6.20147
0.6	6.01401
0.61	5.9959
0.62	5.86859
0.63	6.14939
0.64	6.04588
0.65	6.08406

Чтение  
внешних  
данных в  
Mathcad □

```
T0 := READPRN("C:\temp\33_4kg.dtn")
```

	0	1
0	0.01	5.983
1	0.02	5.732
2	0.03	5.959
3	0.04	5.917
4	0.05	6.056
5	0.06	5.926
6	0.07	6.208
7	0.08	5.929
8	0.09	6.025
9	0.1	5.997
10	0.11	5.913
11	0.12	5.955
12	0.13	6.001
13	0.14	6
14	0.15	6.196
15	0.16	5.674
16	0.17	5.762





# Интерполяция данных

## Линейная интерполяция *linterp*

**Обращение к функции:**

`linterp(x, y, t),`

где  $x$  — вектор опытных значений аргумента;  $y$  — вектор опытных значений функции;  $t$  — значение аргумента, при котором вычисляется интерполирующее значение функции.

массив экспериментальных данных  $(X, Y)$

$X := (0 \ 1 \ 3 \ 4 \ 6 \ 7 \ 10 \ 11 \ 13 \ 14 \ 15)^T$

$Y := (3 \ 7 \ 9 \ 5 \ 5 \ 2 \ 7 \ 9 \ 6 \ 2 \ 2)^T$

$Y1 := \text{linterp}(X, Y, 5)$   $Y1 = 5$  интерполирующее значение  
в одной точке  $X=5$



# Интерполяция данных

## Кубическая сплайн-интерполяция *interp*

### Обращение к функции:

$\text{interp}(vs, X, Y, t),$

где  $vs$  — вектор вторых производных, созданный одной из трех функций,  $\text{lspline}(X, Y)$ ,  $\text{pspline}(X, Y)$ ,  $\text{cspline}(X, Y)$ ;  $X$  — вектор опытных значений аргумента, расположенных в порядке возрастания;  $Y$  — вектор опытных значений функции;  $t$  — значение аргумента, при котором вычисляется интерполирующее значение функции.

Сплайн-интерполяция организована в Mathcad несколько сложнее, чем линейная. Перед применением функции *interp* необходимо определить первый из ее аргументов — вектор  $vs$ . Делается это при помощи одной из трех встроенных функций тех же аргументов  $(x, y)$ :

- ❑  $\text{lspline}(X, Y)$  создает вектор коэффициентов кривой, которая приближается к прямой линии в граничных точках;
- ❑  $\text{pspline}(X, Y)$  создает вектор коэффициентов кривой, которая приближается к квадратичной параболе в граничных точках;
- ❑  $\text{cspline}(X, Y)$  создает вектор коэффициентов кривой, которая приближается к кубической параболе в граничных точках.

Пример ❑

$Y_{\text{lspl}}(t) := \text{interp}(\text{lspline}(X, Y), X, Y, t)$

$Y_{\text{pspl}}(t) := \text{interp}(\text{pspline}(X, Y), X, Y, t)$

$Y_{\text{csp}}(t) := \text{interp}(\text{cspline}(X, Y), X, Y, t)$



# Интерполяция данных

## В-сплайн-интерполяция

В-сплайн-интерполяция отличается от обычной сплайн-интерполяции тем, что сшивка отдельных отрезков (сплайнов) производится не в точках  $X_i$ , а в точках, координаты которых задаются пользователем. Применяется интерполяция В-сплайнами так же, как и обычная сплайн-интерполяция, но для определения сплайн-коэффициентов применяется функция `bspline`.

Обращение к функции:

`bspline(X, Y, XX, n),`

где  $X$  — вектор опытных значений аргумента, расположенных в порядке возрастания;  $Y$  — вектор опытных значений функции;  $XX$  — вектор значений аргумента, при которых вычисляются интерполирующие значения функции;  $n$  — порядок полиномов сплайн-интерполяции (1, 2 или 3).

Размерность вектора  $XX$  должна быть на  $(n - 1)$  меньше, чем размерность вектора  $X$ . Первый элемент вектора  $XX$  должен быть меньше первого элемента вектора  $X$  или равен ему. Последний элемент вектора  $XX$  должен быть больше последнего элемента  $X$  или равен ему.

Наложенные на вектор  $XX$  ограничения делают крайне неудобным использование В-сплайн-интерполяции, так как пользователь лишен возможности свободного выбора точек сшивки полиномов. К тому же по непонятным причинам функция `bspline` отказывается интерполировать некоторые наборы данных.

`nn := 2`      поменяйте порядок полиномов `nn=1,2` или `3`

$X := (0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6)^T$	массивы
$Y := (4 \ 2 \ 3 \ 4 \ 3 \ 5 \ 6)^T$	исходных
$XX := (-1 \ 1 \ 3 \ 4 \ 5 \ 7)^T$	данных
	аргументы точек соединения
	полиномов интерполяции

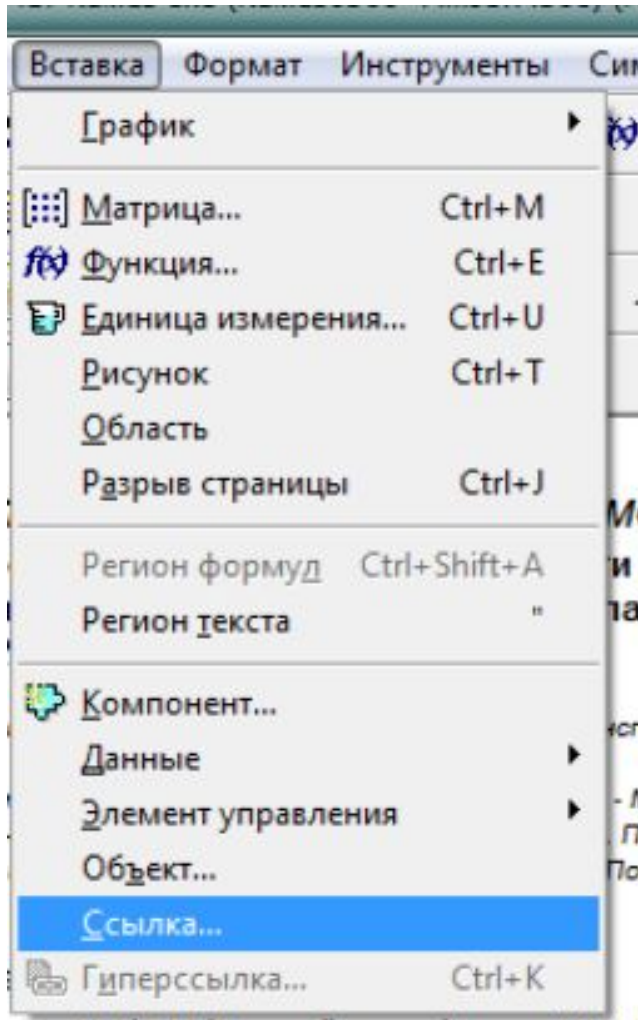
$x_{\min} := \min(XX)$      $x_{\max} := \max(XX)$      $x := x_{\min}, x_{\min} + \frac{x_{\max} - x_{\min}}{30} \dots x_{\max}$

$Y_{csp}(t) := \text{interp}(c\text{spline}(X, Y), X, Y, t)$     кубическая сплайн-интерполяция


$YY(t) := \text{interp}(b\text{spline}(X, Y, XX, nn), X, Y, t)$     В - сплайн-интерполяция



# Вставка ссылки на документ



Задана характеристика двигателя  $M(n)$  в виде таблицы

 Ссылка: \\MAIN\Документы MathCAD\Тяговый расчет\Хар-ка КАМАЗ-750.10-500.xmcd



# Контактная информация

e-mail: [kartashov@bmstu.ru](mailto:kartashov@bmstu.ru);  
рабочий телефон : 18-09;  
мобильный телефон: +7(926)275-0886.

Спасибо за внимание!