

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МАТИ - Российский государственный технологический университет
им. К.Э.Циолковского

Кафедра высшей математики

ГРАФИКА В СИСТЕМЕ МАТНСАД

Методические указания к лабораторной работе по курсу “Информатика”

Составители: А.М. Никулин
Н.З. Емельянова

Москва - 2003

ВВЕДЕНИЕ

Одним из интересных и эффективных применений математических пакетов является использование их графических возможностей при решении различных задач: для визуализации результатов исследований, графической интерпретации данных и т.д.

В пакете *Mathcad* представлен обширный набор инструментов для реализации графических методов решения математических задач. Графики в *Mathcad* являются универсальными и легкими в использовании. Пакет позволяет строить графики разных типов: графики в декартовых координатах, графики в полярных координатах, строить поверхности, строить линии уровня, картины векторных полей, трехмерные гистограммы, точечные графики. Оси графиков могут иметь линейный или логарифмический масштаб. На графики может быть нанесена координатная сетка.

Для создания графиков в системе *Mathcad* имеется программный графический процессор. Основное внимание при его разработке было уделено обеспечению простоты задания графиков и их модификации с помощью соответствующих опций.

Для построения графиков используются шаблоны. Их перечень содержит подменю **Graph** в позиции **Insert** главного меню. Большинство параметров графического процессора, необходимых для построения графиков, по умолчанию задается автоматически. Поэтому для начального построения того или иного вида достаточно задать тип графика. В подменю **Graph** содержится список из семи основных типов графиков.

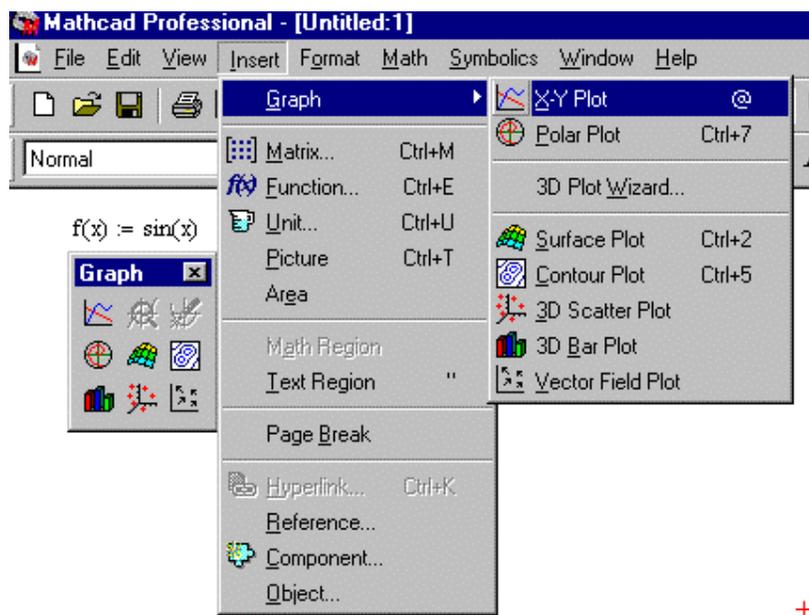


Рис. 1. Выбор шаблона для построения графика

Основные возможности главного меню дублируются кнопками быстрого управления. В системе используются удобные перемещаемые наборные панели (в оригинале - *Palettes*). Одна из кнопок предназначена для того, чтобы открыть панель **Graph**, которая приведена на рис. 1. Щелчком по нужной кнопке этой панели в рабочий документ можно вставить шаблон графика соответствующего типа.

Перечень шаблонов для построения графиков:

Двухмерные графики		
1.	X-Y Plot	шаблон двухмерного графика в декартовой системе координат;
2.	Polar Plot	шаблон графика в полярных координатах;
Трехмерные графики		
1.	Surfase Plot	шаблон для построения трехмерного графика;
2.	Contour Plot	шаблон для контурного графика трехмерной поверхности;
3.	3D Scatter Plot	шаблон для графика в виде точек (фигур) в трехмерном пространстве;
4.	3D Bar Chart	шаблон для изображения в виде совокупности столбиков в трехмерном пространстве;
5.	Vector Field Plot	шаблон для графика векторного поля на плоскости.

Графики любого вида, как любые объекты документа, можно выделять, заносить в буфер обмена, вызывать их оттуда и переносить в любое новое место документа. Их можно и просто перетаскивать с места на место курсором мыши, а также растягивать по горизонтали, по вертикали и по диагонали, цепляясь за специальные маркеры выделенных графиков курсором мыши.

Порядок действий при построении всех графиков одинаков. После выбора шаблона построения графика, в рабочем документе открывается поле построения графика с помеченными для ввода позициями, которые нужно заполнить для определения графика. Когда график определен (заполнены все помеченные позиции), то для построения графика при автоматическом режиме вычислений достаточно щелкнуть мышью вне поля графика.

1. ДВУХМЕРНЫЕ ГРАФИКИ

1.1. Графики в декартовой системе координат

Для построения графика в декартовой системе координат необходимо:

1. ввести выражение, описывающее некоторую функцию;

2. вывести шаблон **X-Y Plot** с помощью меню или с панели **Graph**;
3. заполнить две помеченные для ввода позиции, в первую ввести с клавиатуры $f(x)$, а во вторую – x (рис. 2);
4. сделать щелчок мышью вне графика.

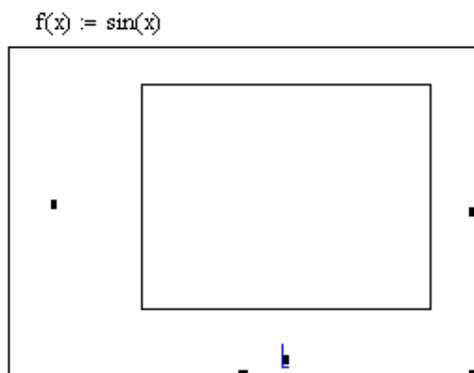


Рис. 2. Шаблон двумерного графика в декартовой системе координат

После выполнения пунктов 3 и 4 будет получен график, представленный на рис. 3. Большинство параметров графического процессора, необходимых для построения графика, по умолчанию задается автоматически.

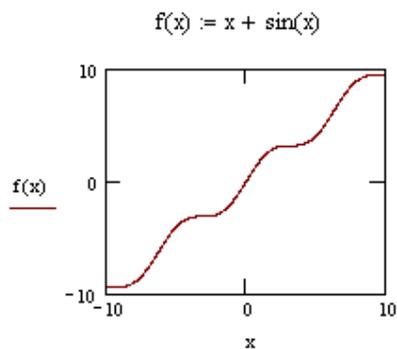


Рис. 3. График функции $f(x) = x + \sin(x)$, построенный автоматически

Очень часто параметры, заданные по умолчанию, не устраивают. Поэтому следующим этапом построения графика является форматирование графика.

1.2. Форматирование двумерных графиков

Подменю **Graph** меню **Format** (график) задает формат графиков.

Для изменения формата уже построенного графика необходимо его выделить. Выделенный график обводится сплошной линией с маркерами изменения размера.

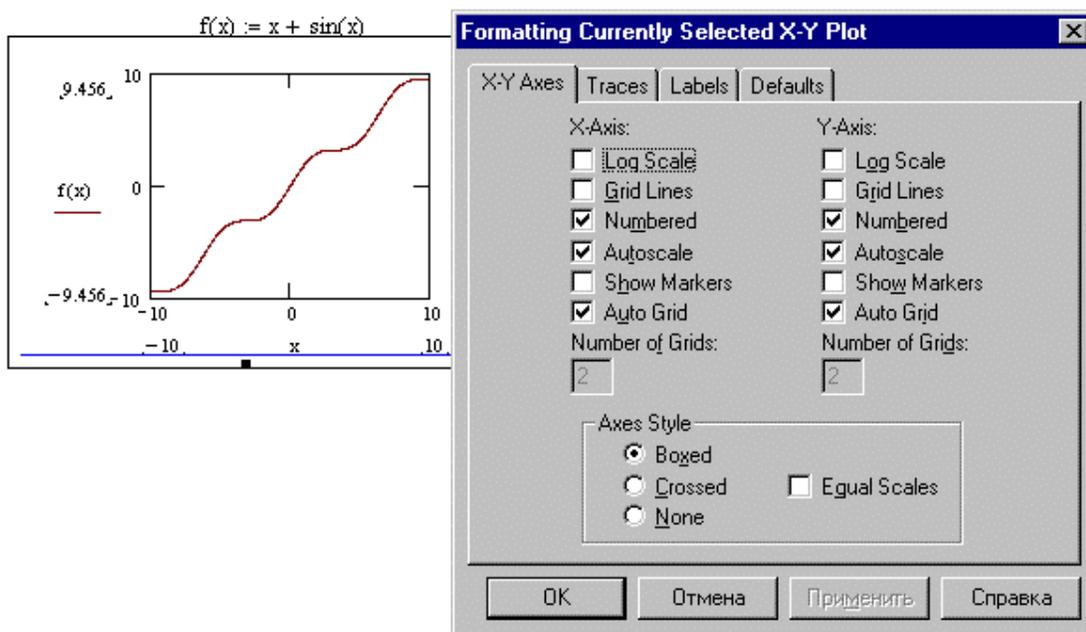


Рис. 4. Окно форматирования двумерных графиков

На выделенном графике (рис. 4) справа и слева от буквы x стоят числа -10 и 10 , которые означают, что график построен на интервале $[-10, 10]$. Изменяя эти значения, можно изменить диапазон построения графика. Например, изменить число -10 на -1 , а число 10 на 1 , указывая диапазон построения графика $[-1, 1]$.

Диалоговое окно форматирования имеет 4 вкладки:

X-Y Axes (оси X-Y)	задание параметров форматирования осей;
Traces (линии графика)	задание параметров форматирования линий графика;
Labels (надписи)	задание параметров форматирования меток (надписей) осей;
Defaults (по умолчанию)	назначение установленных параметров форматирования параметрами по умолчанию.

На вкладке **X-Y Axes** (задание параметров форматирования осей) содержатся следующие основные параметры, относящиеся к осям X и Y (**Axis X** и **Axis Y**):

Log Scale (логарифмический масштаб)	установка логарифмического масштаба;
Grid Lines (линии сетки)	установка линий масштабной сетки;
Numbered (пронумеровать)	установка цифровых данных по осям;
Autoscale (автомасштаб)	автоматическое масштабирование графика;
Show Markers (нанести риски)	установка рисок по осям;
Auto Grid (автосетка)	автоматическая установка масштабных линий;
Number of Grids (число интервалов)	установка заданного числа масштабных линий.

Назначение всех этих параметров достаточно очевидно. Если флажок **Grid Lines** снят, масштабная сетка графика не строится, хотя на осях размещаются короткие деления. Флажок **Numbered** обеспечивает возможность редактирования цифровых данных, например, для округления нижнего и верхнего пределов изменений значений абсцисс и ординат, которые при автоматическом выборе масштаба могут оказаться десятичными числами с дробной частью.

Группа **Axes Style** (стиль осей) позволяет задать стиль отображения координатных осей:

Boxed (рамка)	оси в виде прямоугольника;
Crossed (визир)	оси в виде креста;
None (ничего)	отсутствие осей;
Equal Scales (равные деления)	установка одинакового масштаба по осям графика.

Следующая вкладка **Traces** (линии графика), показанная на рис. 5, служит для управления отображением линий, из которых строится график. На этой вкладке представлены следующие параметры:

Legend Label (метка легенды)	выбор типа линии в легенде;
Symbol (символ)	выбор символа для отметки базовых точек графика;
Line (линия)	установка типа линий (сплошная, пунктирная и т.д.);
Color (цвет)	установка цвета линий и базовых точек;
Type (тип)	установка типа графика;
Weight (толщина)	установка толщины линий.

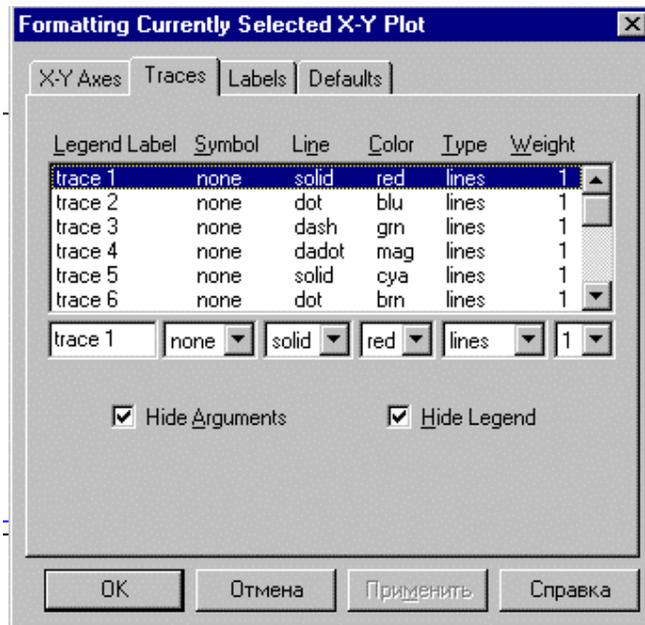


Рис. 5. Вкладка Traces

Узловые точки графиков (точки, для которых вычисляются координаты) часто требуется выделить какой-либо фигурой - кружком, крестиком, прямоугольником и т.д. Раскрывающийся в нижней части список столбца **Symbol** позволяет выбрать следующие отметки для базовых точек графика каждой из функций:

- none (ничего) - без отметки;
- x's - наклонный крестик;
- +'x - прямой крестик;
- box (квадрат) - квадрат;
- dmnd (ромб) - ромб;
- o's – окружность.

Графики отдельных функций можно также выделять, используя для их построения линии различного типа. Раскрывающийся список в нижней части столбца **Line** позволяет выбрать следующие типы линий:

- solid (сплошная) - непрерывная линия;
- dot (точка) – точечная линия;
- dash (пунктир) - пунктирная линия;
- dadot (штрих-пунктир) – штрих-пунктирная линия.

Другой распространенный способ выделения линий, относящихся к различным кривым на графике, заключается в изменении их цвета. Разумеется, этот метод эффективен при применении цветного дисплея и цветного (например, струйного) принтера для распечатки графиков. Раскрывающийся список в

нижней части столбца **Color** позволяет выбрать следующие основные цвета линий и базовых точек:

- red - красный;
- blu – синий;
- grn – зеленый;
- mag – сиреневый;
- cya – голубой;
- brn – коричневый;
- blk – черный;
- wht – белый.

Тип графика имеет важное значение. Раскрывающийся список в нижней части столбца **Type** позволяет выбрать следующие типы линий графика:

- lines (линия) - построение линиями;
- points (точки) - построение точками;
- error (интервалы) - построение вертикальными черточками с оценкой интервала погрешностей;
- bar (столбец) - построение в виде столбцов гистограммы;
- step (ступенька) - построение ступенчатой линией;
- draw (протяжка) - построение протяжкой от точки до точки;
- stem (основа) - построение вертикальными черточками.

Возможные конфликты между отметкой символов и типом линий автоматически устраняются. При этом приоритет отдается параметру **Type**, а конфликтные типы линий или точек отмечаются тремя звездочками.

Вкладка **Label** (надписи) позволяет вводить в график дополнительные надписи, что иллюстрирует рис. 6.

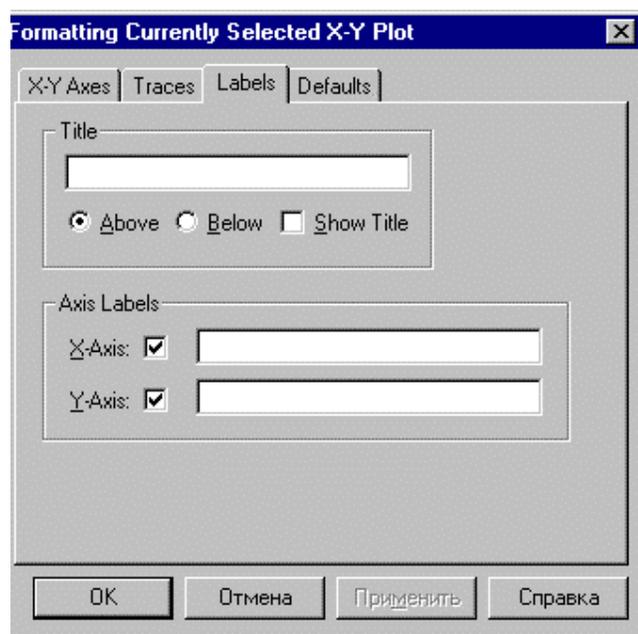


Рис. 6. Вкладка Label

Для установки надписей служат поля ввода:

- Title (заголовок) – установка титульной надписи к графику;
- X-Axis (ось X) - установка надписи на оси X;
- Y-Axis (ось Y) - установка надписи на оси Y.

В группе **Title** есть переключатели, позволяющие указывать месторасположение надписи:

- Above (сверху) - надпись над графиком;
- Below (снизу) - надпись под графиком;
- Show Title (показывать заголовок) - включать или выключать отображение титульной надписи.

Рассмотрим пример форматирования двумерного графика. Для визуализации выбранных параметров при открытом окне их установки служит кнопка **Применить** каждого диалогового окна. Щелчок на этой кнопке позволяет наблюдать за сделанными изменениями еще до закрытия окна, что заметно облегчает экспериментирование с различными форматами графиков. На рис. 7 приведен пример форматирования графика, соответствующего рис. 3.

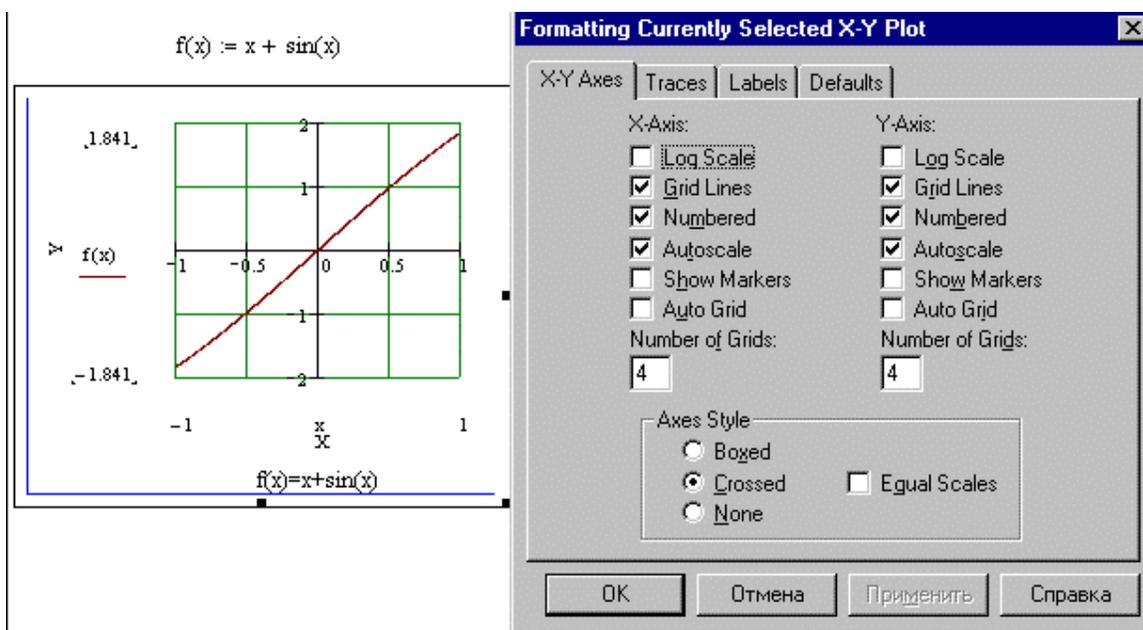


Рис. 7. Пример форматирования двумерного графика

Все перечисленные параметры форматирования графиков предоставляют возможность создавать графики самых различных видов, удовлетворяющие любым запросам пользователя.

Можно начертить несколько кривых на одном и том же чертеже. Например, график в декартовой системе координат может содержать несколько выражений по оси ординат а зависимости от одного выражения по оси абсцисс. Чтобы представить графически несколько выражений по оси ординат относительно одного выражения по оси абсцисс, введите первое выражение по оси

ординат, сопровождаемое запятой. Непосредственно под первым выражением появится пустое поле. Введите туда второе выражение, сопровождаемое другой запятой, чтобы получить пустое поле и т.д.

Чтобы построить несколько независимых кривых на одном чертеже, введите два или более выражения, отделяемых запятыми по оси абсцисс, и то же самое выражение по оси ординат. *Mathcad* согласует выражения попарно - первое выражение по оси абсцисс с первым выражением по оси ординат, второе со вторым и т.д. Затем рисуется график каждой пары.

Можно построить до 16 функций по оси ординат в зависимости от одного аргумента по оси абсцисс. Однако, если для каждой кривой используется свой аргумент, то можно отобразить только до 10 графиков.

Каждому графику соответствует строка в прокручиваемом списке, который откроется, если в диалоговом окне для форматирования графика щелкнуть по закладке **Traces**. По мере появления новых графиков *Mathcad* ставит в соответствие каждому одну из этих строк.

Вместо имени функции можно ввести выражение для ее вычисления. Чтобы удалить график из рабочего документа надо выделить график, а затем выполнить меню **Edit** команда **Cut**.

1.3. Трассировка и масштабирование

Еще одной возможностью при работе с двумерными графиками является применение специального графического курсора в виде двух пунктирных линий, пересекающих все окно графика. Они появляются при выборе команды **X-Y Trace** (трассировка) из подменю **Graph** меню **Format**.

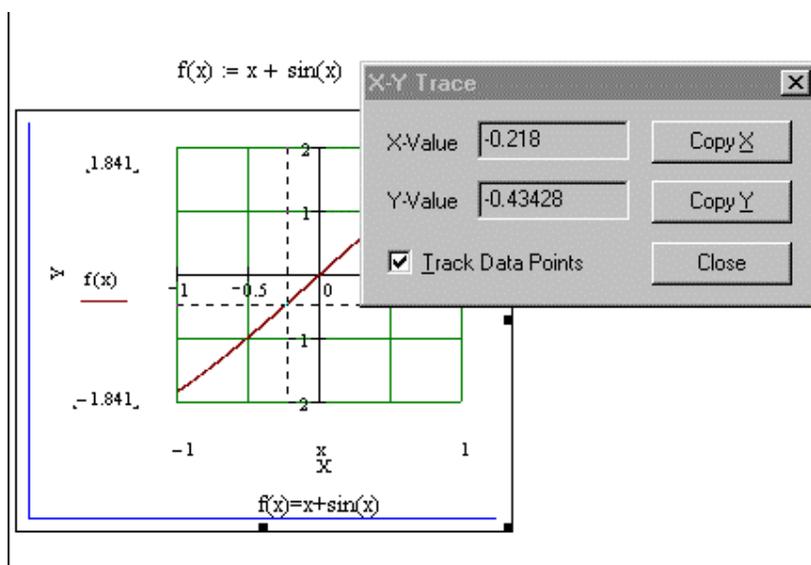


Рис. 8. Пример трассировки двумерных графиков

При снятом флажке **Track Data Points** (перемещение по точкам данных) в диалоговом окне трассировки курсор свободно перемещается по графику, при этом его координаты отображаются в окне трассировки. Поместив курсор на какую-либо интересную точку графика, можно примерно определить ее координаты.

Однако вручную трудно точно совместить положение маркера с выбранной точкой графика. Для этого предусмотрен режим слежения за кривой графика. Он реализуется установкой флажка **Track Data Points**. При этом перемещение курсора по кривой графика происходит автоматически и его легко установить на любую точку этой кривой.

Еще одно средство для работы с двухмерными графиками заключается в просмотре части графиков с возможностью их увеличения. Оно реализуется командой **X-Y Zoom** (масштаб) подменю **Graph** меню **Format**. Эта команда позволяет увеличить любой участок графика. Чтобы воспользоваться этой командой, надо выделить на графике тот фрагмент, который надо увеличить.

Форматирование графиков в декартовой системе координат позволяет получать практически все типы графиков, используемые в математической и научно-технической литературе.

1.4. Графики в полярной системе координат

В полярной системе координат каждая точка задается углом θ и модулем радиус-вектора $r(\theta)$. График функции обычно строится в виде линии, которую описывает конец радиус-вектора при изменении угла θ в определенных пределах, чаще всего от 0 до 2π . Опция **Polar Plot** выводит шаблон таких графиков в форме окружности с шаблонами данных.

$$r(\theta) := 10 \cdot \sin(5 \cdot \theta)$$

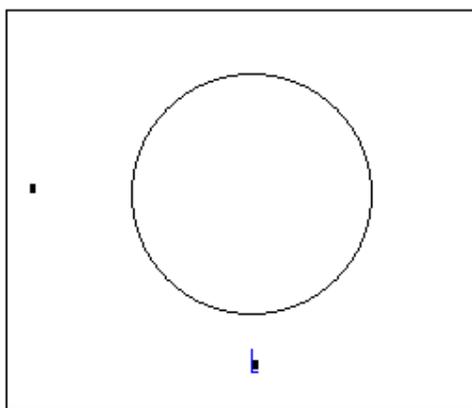


Рис. 9. Шаблон для построения графика в полярной системе координат

Перед построением таких графиков надо задать функцию $r(\theta)$. После вывода шаблона следует ввести в шаблон внизу θ , а в шаблон справа функцию $r(\theta)$. После построения графика надо вывести графический курсор мыши из об-

ласти графика. Функция и переменная могут иметь другое имя. Если необходимо, то задаются пределы изменения переменной f_i .

$$r(f_i) := 10 \cdot \sin(5 \cdot f_i)$$

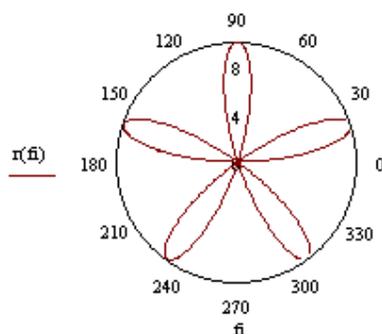


Рис. 10. График функции в полярной системе координат

Форматирование графика в полярной системе координат во многом совпадает с форматированием графика в декартовой системе координат и поэтому подробно не рассматривается.

Можно определить многие из характеристик полярного графика, включая размер, число линий сетки, верхнее и нижнее граничные значения по радиальной оси.

Можно построить несколько графиков на одном и том же чертеже в полярных координатах, также как и при построении графиков в декартовых координатах.

2. ТРЕХМЕРНЫЕ ГРАФИКИ

2.1. Построение поверхностей по матрице аппликат их точек

До появления *Mathcad* версии 2000 при построении графика поверхности, представленной функцией $z(x, y)$ двух переменных, приходилось предварительно определять матрицу M аппликат (высот z) ее точек. Разумеется, этот способ возможен и в *Mathcad* 2000.

Поскольку элементы матрицы M - переменные с целочисленными индексами, то перед созданием матрицы требуется задать индексы в виде ранжированных переменных с целочисленными значениями, а затем уже из них формировать сетку значений x и y - координат для аппликат $z(x, y)$. Значения x и y при этом обычно должны быть вещественными числами, нередко как положительными, так и отрицательными.

В каждом конкретном случае получение матрицы значений связано с конкретной поставленной задачей. Например, построить график функции двух переменных.

Переменная z (с областью изменения Z) называется функцией независимых переменных x и y в множестве M , если каждой паре (x, y) их значений из M по некоторому правилу или закону ставится в соответствие одно определенное значение z из множества Z .

Множество M - область определения функции, множество Z - область ее значений. Функциональная зависимость z от x, y обозначается $z = f(x, y)$.

Возьмем в пространстве систему координатных осей x, y, z , изобразим на плоскости xOy множество M ; в каждой точке (x, y) этого множества - восстановим перпендикуляр к плоскости и отложим на нем значение $z = f(x, y)$ (аппликаты точек).

Геометрическое место полученных таким образом точек и является пространственным графиком функции $z = f(x, y)$.

Поэтому для построения в *Mathcad* графика функции двух переменных необходимо предварительно вычислить значения функции на прямоугольной сетке, т.е. построить таблицу значений функции. Надо определить функцию двух переменных $f(x, y)$, определить количество узлов квадратной сетки n в плоскости переменных x, y , определить диапазон изменения целых индексов i и j узлов сетки x_i и y_j соответственно.

В простейшем случае определим $x_i = i$ и $y_j = j$, соответственно в этом случае функцию z можно записать как $z = f(i, j)$. Построим матрицу значений такой функции.

Пусть количество узлов квадратной сетки $n = 10$, диапазон изменения индексов от 1 до 10, функция $f(i, j) = 3 - i + j$. При задании элементов матрицы по формулам необходимо помнить, что начальный индекс элементов матрицы по умолчанию равен нулю и обозначается символом *ORIGIN*.

Определяем *ORIGIN* :=1 для того, чтобы индексы первого элемента матрицы были равны 1. Переменные i и j определим как ранжированные переменные, которые изменяются от 1 до 10 с шагом 1. Чтобы задать индексы i и j , после ввода имени матрицы M нажать клавишу «[», после чего появится шаблон для ввода индексов. Пример задания матрицы M в *Mathcad* приведен на рис. 11.

После выполнения указанных выше определений вводится шаблон графика (например, команда **Surface Plot**). В шаблоне необходимо заполнить единственный темный прямоугольник у левого нижнего угла основного шаблона. В него надо занести имя матрицы M , которая определена в примере на рис. 11. После этого надо установить указатель мыши и стороне от графического блока и щелкнуть левой кнопкой. На рис. 12 показан пример построенного графика. По умолчанию строится поверхность в виде «проволочного каркаса» со всеми видимыми линиями.

```

ORIGIN := 1
i := 1..10    j := 1..10    +
Mi,j := 3 - i + j

```

M =

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

Рис.11. Пример задания матрицы М - матрицы аппликат (высот)

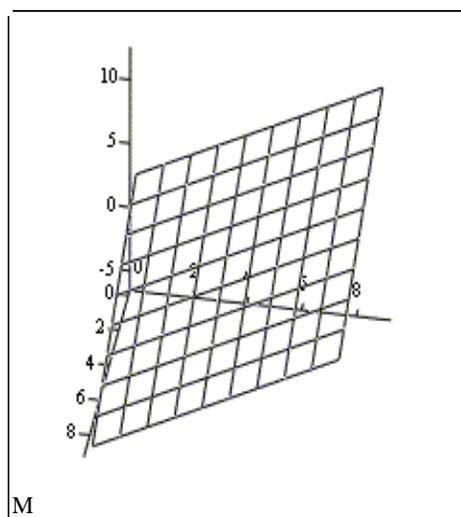


Рис.12. График поверхности, построенный автоматически

Наглядность представления поверхностей трехмерных фигур зависит от множества факторов: масштаба построения, углов поворота фигуры относительно осей, применения алгоритма удаления невидимых линий или отказа от него, использования функциональной закрашки и т.д. Для изменения этих параметров следует отформатировать график.

Вид трехмерных фигур сильно зависит от того, под какими углами относительно осей X, Y и Z фигуру рассматривают. Вращение фигуры эквивалентно ее просмотру с разных сторон.

Для этого и иных действий надо поместить указатель мыши в область графика, нажать левую кнопку мыши и удерживая ее, начать двигать мышью по

столу в том или ином направлении. Фигура вместе с осями координат и «ящиком», и который она помещена, начнет вращаться в ту или иную сторону.

Если оперировать мышью при нажатой клавише Ctrl, можно с ее помощью отдалять объект от наблюдателя или наоборот приближать. Если проделать те же действия с нажатой клавишей Shift, то после отпускания левой кнопки можно вообще наблюдать анимационную («живую») картину вращения объекта в любом заданном предварительно направлении. Для остановки вращения надо щелкнуть левой кнопкой мыши.

2.2. Построение трехмерных графиков в *Mathcad* 2000 без задания матрицы

Mathcad версии 2000 обладает новой возможностью построения трехмерных графиков - без задания матрицы аппликат поверхностей. Для построения графика необходимо задать функцию двух переменных x и y . Пример построения такого графика приведен на рис. 13.

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

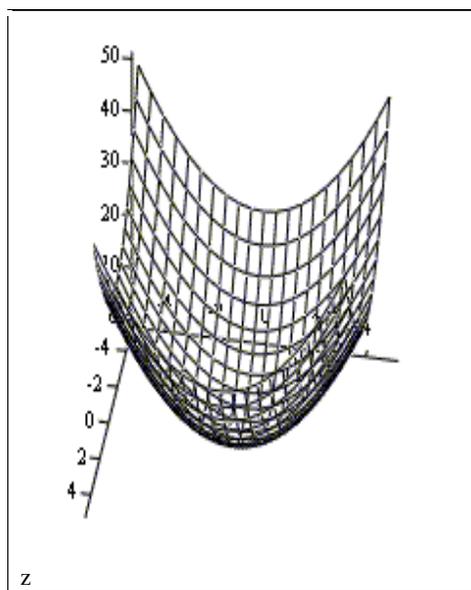


Рис.13. График поверхности, построенной автоматически

Недостатком этого упрощенного метода построения поверхности является неопределенность в масштабировании, поэтому график требует форматирования.

2.3. Построение контурных графиков поверхности

Линией уровня функции двух переменных x и y называется геометрическое место точек в плоскости xOy , в которых функция принимает одно и то же значение.

Рассматривая линии уровня функции двух переменных, можно исследовать характер изменения функции, найти (приближенно) координаты точек экстремума. Такое графическое представление удобно для количественных оценок. Для построения такого типа графика используется шаблон **Contour Plot** (контурный график трехмерной поверхности). Для его построения достаточно в шаблон внести имя матрицы M или имя функции двух переменных. Численные значения уровней для разных кривых графика представлены рядом цифр около линий уровня.

Иногда контурные графики получаются даже более информативными, чем просто поверхности. У графика поверхности нередко одни части поверхности закрывают другие. У контурных графиков такого эффекта нет и на них легко обнаруживаются все пики и впадины.

Пример контурного графика для матрицы M приведен на рис. 14.

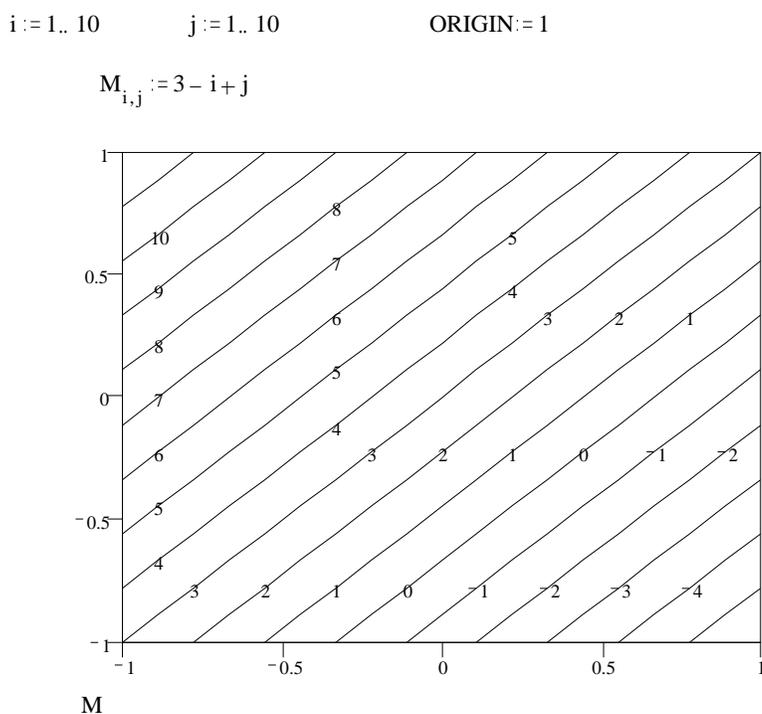


Рис. 14. Контурный график поверхности

В большинстве случаев указание количественных значений уровней загромождает график. Возможно задание высот поверхностей с помощью функциональной окраски. Это делает график более наглядным.

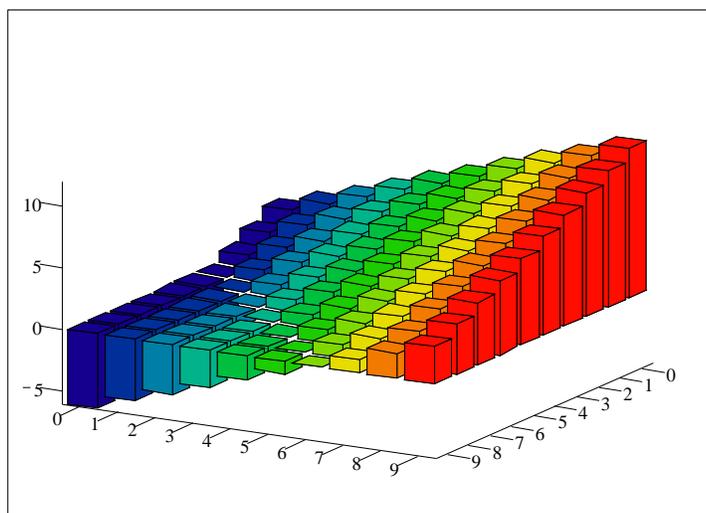
2.4. Построение графика поверхности в виде гистограммы

Весьма распространенной формой представления поверхностей является также представление ее рядом трехмерных столбиков, высота которых определяется значением координаты $z(x, y)$.

Подобные графики широко применяются для представления сложных статистических данных.

Для построения данного типа графика надо выбрать шаблон **3D Bar Chart** (изображение в виде совокупности столбиков в трехмерном пространстве). В шаблон достаточно подставить имя матрицы M или имя функции двух переменных. Трехмерный график в виде гистограммы для матрицы M приведен на рис. 15.

```
i:=1..10      j:=1..10      ORIGIN:=1  
  
Mi,j:=3-i+j
```



M

Рис. 15. Представление поверхности трехмерными столбиками

Пространственное представление гистограммы зависит от расположения наблюдателя относительно поверхности. Можно задать нужный вид, изменяя наклон диаграммы или поворачивая ее, т.е. изменяя ракурс наблюдения, можно изменить цвет и линии, окраску и расположение столбиков и интервал между ними.

2.5. Построение точечного графика поверхности

Нередко поверхности представляют в виде находящихся в трехмерном пространстве точек, кружочков или иных фигур. Точечные графики позволяют построить произвольную совокупность точек в трехмерном пространстве. Это особенно полезно для таких задач, как идентификация кластеров данных или слежение за траекторией точки.

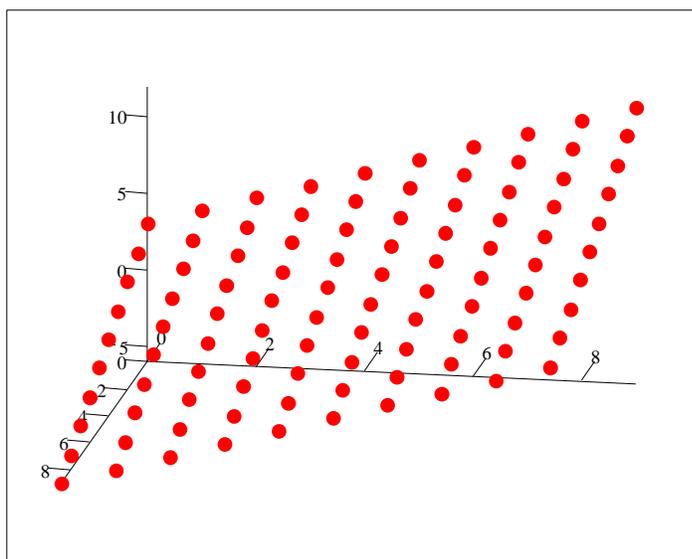
Точечные графики отличаются от всех других трехмерных графиков следующим: для построения трехмерных графиков можно использовать не только матрицу, но и три вектора, содержащих столько элементов, сколько точек нуж-

но построить. Координаты x , y и z точек определяются в этом случае тремя элементами соответствующих векторов. Для этого типа графиков несколько значений z может соответствовать одним и тем же значениям x и y . Это часто необходимо в статистике, когда одно и то же измерение выполняется несколько раз. Можно также легко создавать параметрические кривые в трехмерном пространстве, при этом сами индексы векторов являются естественными параметрами.

Такой график создается с помощью шаблона **3D Scatter Plot** (график в виде точек (фигур) в трехмерном пространстве). Для его построения достаточно в шаблон внести имя матрицы M .

Пример такого графика для матрицы M приведен на рис.16.

```
i := 1..10      j := 1..10      ORIGIN:= 1
Mi,j := 3 - i + j
```



М

Рис. 16. График поверхности в виде разбросанных в пространстве точек

Размеры точек, их вид и окраску можно изменять с помощью команды изменения формата графика.

2.6. Построение векторного графика поверхности

Еще один вид представления поверхности - векторное представление. Оно задается построением коротких стрелочек - векторов. Стрелки обращены острием в сторону нарастания высоты поверхности, а плотность расположения стрелок зависит от скорости этого нарастания.

Для его построения используется шаблон **Vector Field Plot** (график векторного поля на плоскости). В шаблон необходимо внести имя матрицы M или имя функции двух переменных. Этот график применяется редко из-за трудности построения множества стрелок, для каждой из которых надо рассчитать градиент поля. Этот тип графика особенно подходит для представления электромагнитных, тепловых, гравитационных и иных полей.

На рис. 17 показан пример подобного графика.

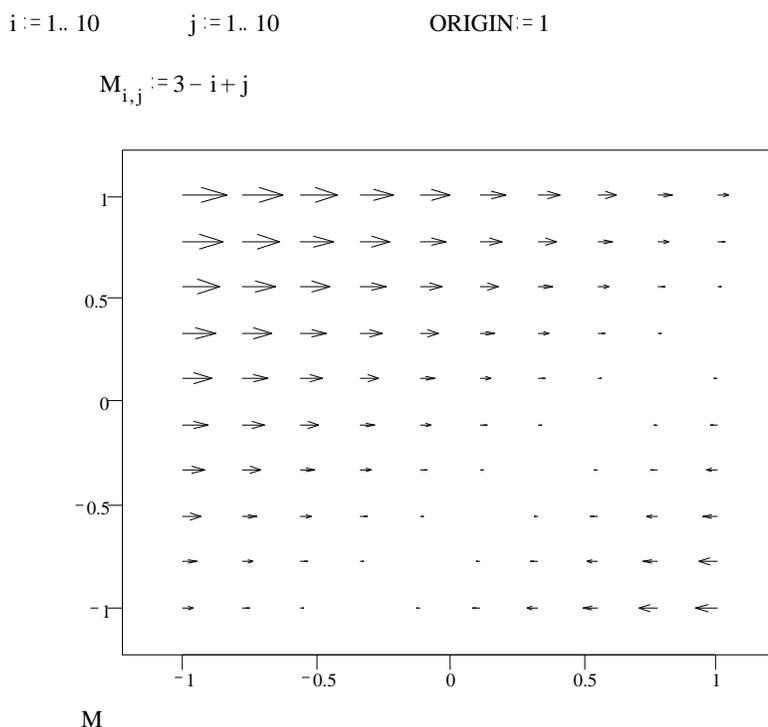


Рис. 17. Представление поверхности векторами

Для получения достаточного числа отчетливо видных стрелок надо поработать с форматированием графиков. Иначе графики могут оказаться не очень представительными. Так, слишком короткие стрелки превращаются в черточки и даже точки, не имеющие острия, что лишает график наглядности.

2.7. Применение Мастера построения трехмерных графиков

Форматирование трехмерных графиков в *Mathcad 2000* довольно сложный процесс, поскольку число применяемых для этого параметров достигает многих десятков. Для облегчения задания трехмерных графиков используется специальный Мастер, разбивающий процедуру форматирования на несколько этапов.

Вначале надо ввести функцию или матрицу поверхности, как описывалось выше. Затем в подменю **Graph** меню **Insert** следует выбрать команду **3D Wizard**. В окне документа появится первое окно Мастера - **Plot Type** (тип графика), как показано на рис. 18.

В этом окне надо указать необходимый тип графика, установив соответствующий переключатель. В нашем случае установите переключатель **Surface Plot**.

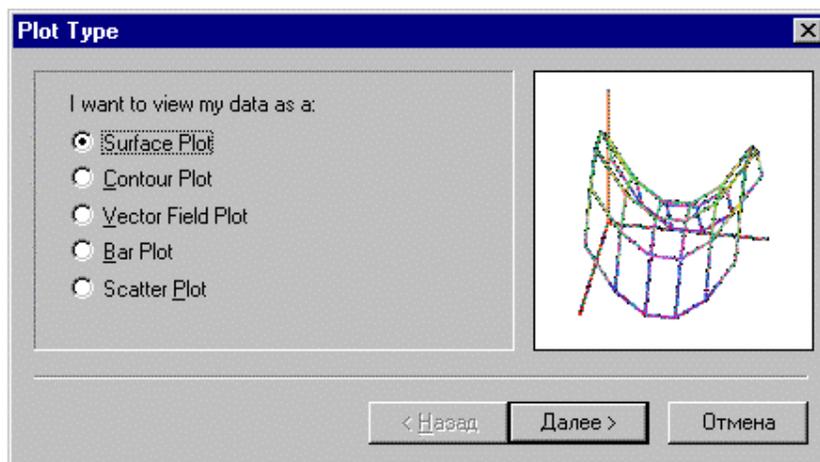


Рис. 18. Окно определения типа трехмерного графика

После этого, щелкнув на кнопке **Далее>**, можно перейти к следующему окну Мастера - **Appearance** (вид), показанному на рис. 19. В нем надо указать нужный вид графика.

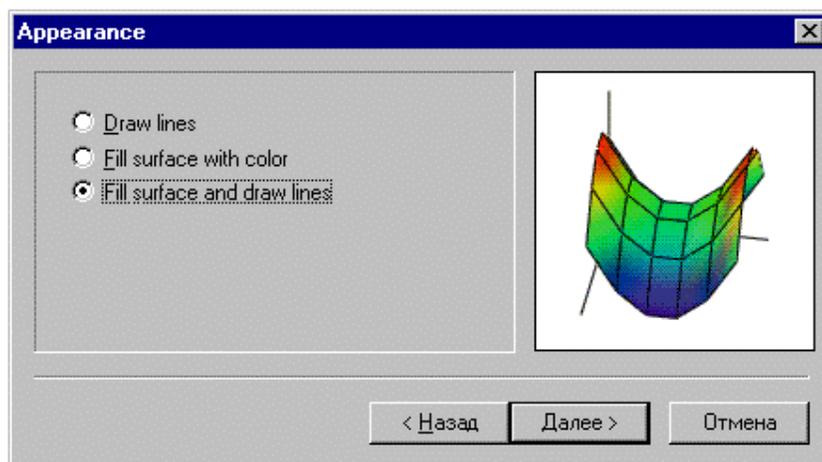


Рис. 19. Окно определения вида трехмерного графика

Щелкнув на кнопке **Далее>**, можно вывести последнее окно Мастера - **Coloring** (задание цветовой гаммы), показанного на рис. 20. Установите пере-

ключатель **Color using lighting** (цвет определяется высотой). Вместо кнопки **Далее** в этом окне появляется кнопка **Готово**, что указывает на завершение операций с Мастером. Щелкните на ней, если введенные параметры вы считаете правильными. Кнопка **Назад** позволяет вернуться к предыдущему окну, если вы решили изменить заданные ранее параметры. Если вы вообще передумали строить график, щелкните на кнопке **Отмена**.

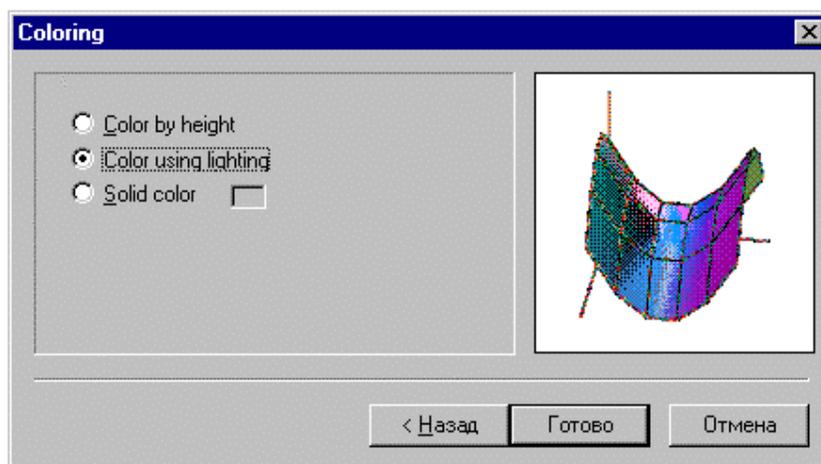


Рис. 20. Окно определения цветовой гаммы

При работе с Мастером все параметры, которые введены, наглядно отображаются в специальном окне просмотра. По завершении работы с Мастером на месте курсора ввода (красный крестик) появится шаблон трехмерного графика.

Пока в шаблоне сам график отсутствует - для его построения надо в месте ввода ввести имя матрицы или имя функции двух переменных. После этого, отведя указатель мыши от поля графика, надо щелкнуть левой кнопкой мыши - график будет тут же построен.

Разумеется, построенный график можно подвергнуть добавочному форматированию всеми возможными способами - растяжением, перемещением, вращением мышью, уточнением параметров задания осей и т.д.

Высокая наглядность процесса создания трехмерных графиков с помощью Мастера делает его применение предпочтительным, особенно для начинающих пользователей. Однако следует отметить, что Мастер реализует не все возможности форматирования.

2.8. Оперативная смена типа графика

Mathcad 2000 предусматривает возможность оперативной смены типа графика, отображающего какую-то поверхность. Для этого достаточно вывести на экран окно форматирования, введя в область графика указатель мыши и дважды щелкнуть ее левой кнопкой. Окно будет открыто на вкладке **General**

(рис. 21), позволяющей задавать общие параметры форматирования, включая отмеченную возможность оперативной смены типа графика (переключатели в нижней части вкладки).

Для изменения типа графика установите требуемый переключатель и щелкните на кнопке **Применить**. Тут же будет построен график без удаления окна форматирования. После этого можно продолжить форматирование графика.

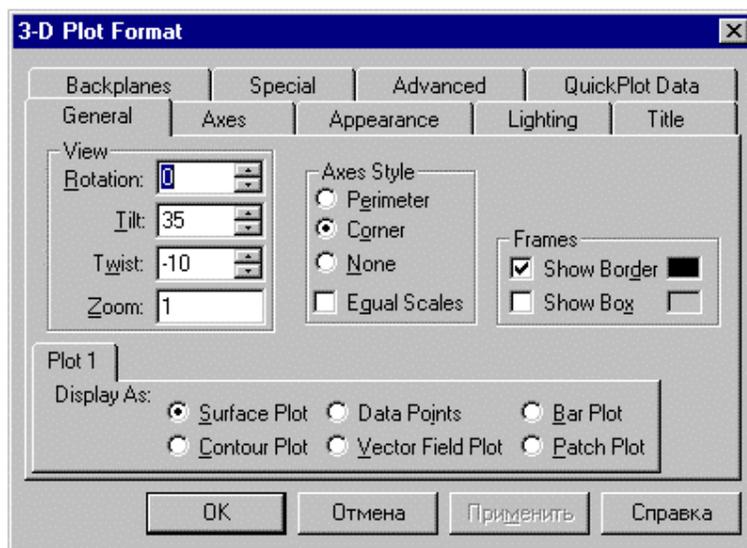


Рис. 21. Окно форматирования с открытой вкладкой General

2.9. Трехмерный график типа Patch Plot

Существует возможность построения еще одного типа графика - **Patch Plot**. Такой команды нет в подменю **Graph** меню **Insert**, но соответствующий переключатель есть на вкладке **General** окна форматирования. На рис. 22 показан график этого типа.

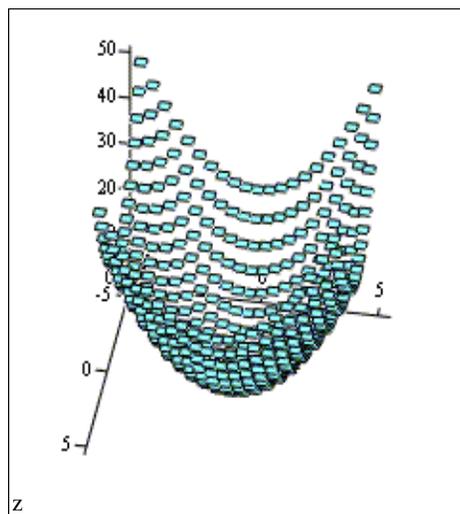


Рис. 22. График типа Patch Plot

Этот график представляет собой поверхность из прямоугольников или иных простых фигур.

2.10. Надписи на переднем и заднем плане

Форматирование графиков предусматривает вывод титульной надписи сверху или снизу графиков, а также надписей по осям. Однако такой вид форматирования имеет серьезные недостатки - размер надписей ограничен, место их фиксировано и смена шрифта не предусмотрена. В частности, не удастся сделать надписи на русском языке. Но таких ограничений нет в текстовых блоках.

В *Mathcad 2000* появилась возможность управления планом надписей. Если маркер ввода находится внутри текстового блока, то контекстное меню содержит две относящиеся к надписям команды:

- Bring to Front - задать вывод надписей на переднем плане;
- Send to Back - задать вывод надписей на заднем плане.

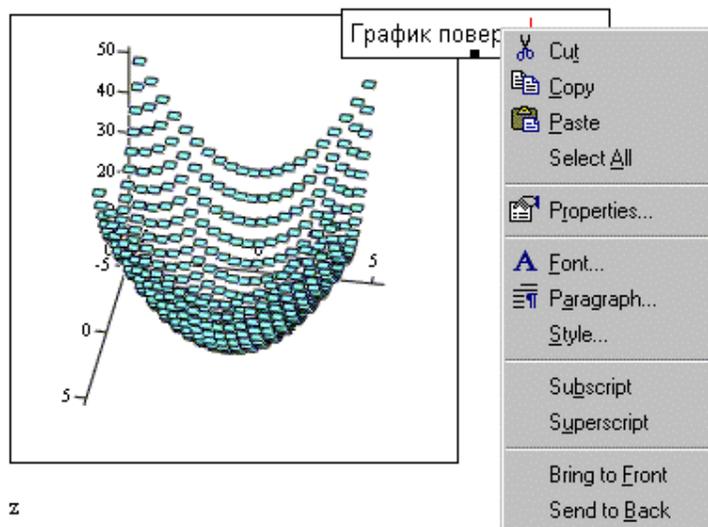


Рис. 23. Поясняющая график надпись оказалась на переднем плане

На рис. 23 текстовый блок перемещен внутрь графического блока и выполнена команда вывода текста на передний план.

Описанная возможность весьма ценна, поскольку позволяет украсить рисунки надписями с любым шрифтом, стилем и местом расположения. Единственный недостаток такого метода - при изменении размера и местоположения рисунка нарушается взаимное расположение элементов графика и текстовых надписей, но это несложно восстановить перемещением текстовых блоков.

3. СПЕЦИАЛЬНАЯ ГРАФИКА

В этом разделе рассматриваются возможности построения графиков, которых нет в подменю **Graph** в позиции **Insert** главного меню.

3.1. Применение новой функции CreateMesh

Еще одна новинка системы *Mathcad 2000*, отсутствующая в предшествующих версиях, это новая графическая функция для задания поверхностей:

CreateMesh(F, s0, s1, t0, t1, sgrid, tgrid, fmap)

Эта функция возвращает массив из трех матриц, представляющих координаты переменных x , y и z для функции F , определенной в векторной параметрической форме в качестве параметров $sgrid$ и $tgrid$. Параметры $s0$, $s1$, $t0$, $t1$ задают пределы изменения переменных $sgrid$ и $tgrid$. Параметр $fmap$ - трехэлементный вектор значений, задающий число линий в сетке изображаемой функции. Все аргументы F не обязательны. Создаваемый функцией *CreateMesh* массив можно использовать для ввода в шаблон трехмерной графики типа *Surface Plot*.

Пример применения функции *CreateMesh* - построение объемной фигуры, которая получается вращением кривой, заданной функцией $f(x)$, вокруг оси X или Y . На рис.24 показан пример решения данной задачи. Слева на рис.24 показана исходная кривая, заданная функцией $f(x)$, а справа дано построение объемной фигуры с применением форматирования для повышения наглядности графика.

Построение фигуры, полученной вращением кривой вокруг оси X
 $f(x) := x \cdot \cos(x^2) \quad a := -2 \quad b := 2 \quad mesh := 30$
 $F(u, v) := u \quad G(u, v) := f(u) \cdot \cos(v) \quad H(u, v) := f(u) \cdot \sin(v)$
 $S := \text{CreateMesh}(F, G, H, a, b, 0, 2 \cdot \pi, mesh)$

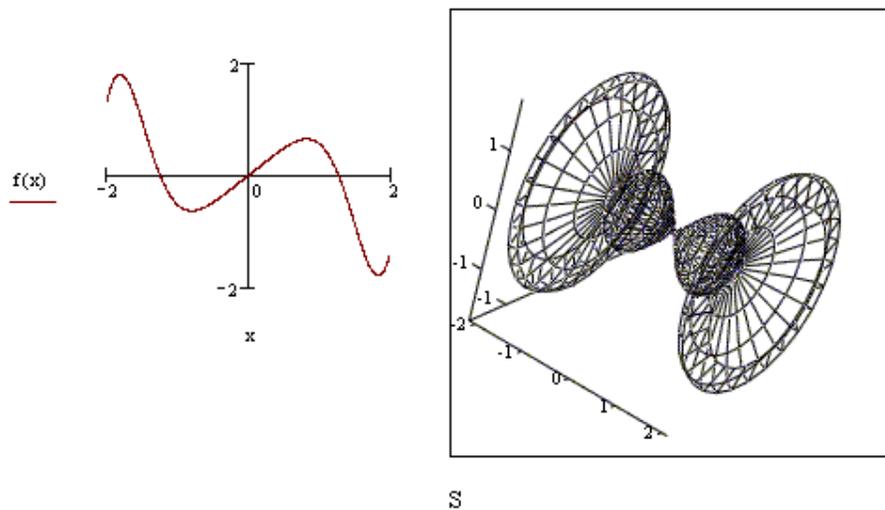


Рис. 24. Получение объемной фигуры, полученной вращением кривой

3.2. Построение объемных фигур с помощью функции Polyhedron

В *Mathcad 2000 Professional* появилась новая функция для построения объемных фигур полиэдров:

$\text{Polyhedron}(\text{"name"}),$

где name - имя фигуры.

Имя ряда фигур можно задавать в виде "#N", где N – номер фигуры.

Пример построения приведен на рис. 25.

Name:="cube"

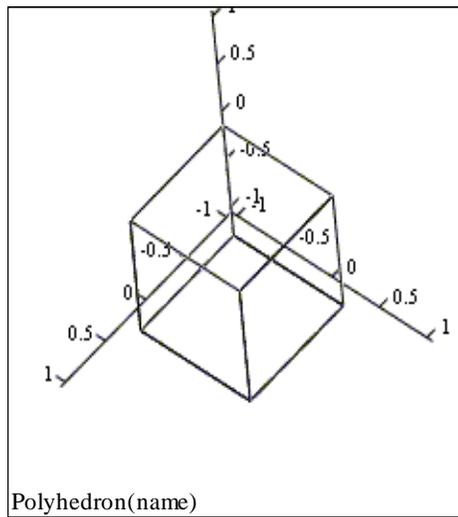


Рис. 25. Пример построения куба

Построенная фигура может форматироваться как и другие графики поверхности, а также вращаться, приближаться и удаляться с помощью мыши.

3.3. Функция задания полиэдров PolyLookup

Для описания произвольных полиэдров в *Mathcad 2000 Professional* служит функция PolyLookup, которую можно задать одним из следующих способов:

$\text{PolyLookup}(\text{"имя"})$

$\text{PolyLookup}(\text{"#N"})$

$\text{PolyLookup}(\text{"Описатель"}).$

Аргументом функции является строка с именем, номером фигуры или с ее описателем в случае создания составных полиэдров. Всего в таблице имеется около 60 полиэдров.

Большое число примеров применения функции PolyLookup можно найти в справочной системе *Matchad 2000* – раздел Polyhedra таблиц Reference Table, одна страница которой приведена на рис. 26.

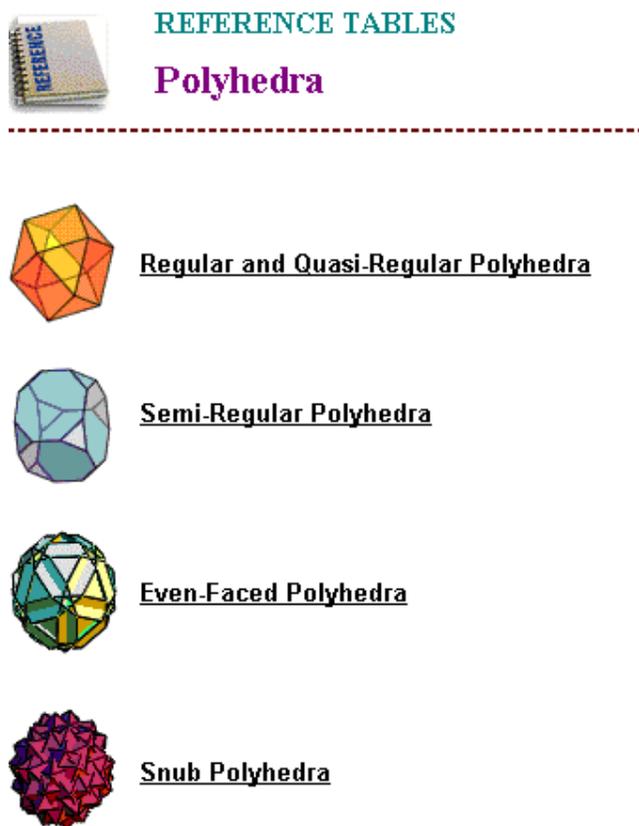


Рис. 26. Страница таблиц, посвященная полиэдрам

3.4. Применение новой функции CreateSpace

Matchad 2000 имеет еще одну новую графическую функцию:

CreateSpace(F, t0, t1, tgrid, tmap)

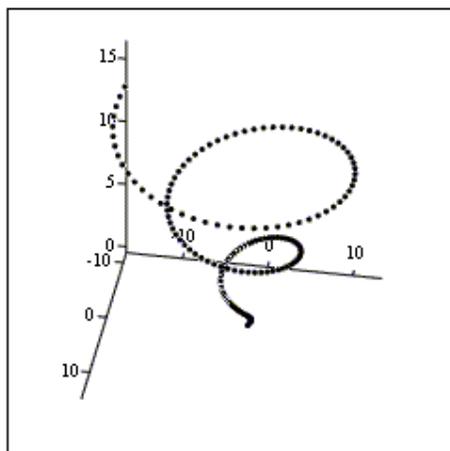
Эта функция отличается от функции CreateMesh только тем, что заданная в векторном виде функция F задается как функция одной переменной tgrid, причем параметры t0 и t1 устанавливают пределы ее изменения, а tmap - число линий сетки. Для построения графика используется шаблон типа **Scatter Plot** (шаблон для графика в виде точек (фигур) в трехмерном пространстве). С помощью этой функции удобно строить точечные трехмерные графики в виде пространственных спиралей и иных подобных геометрических образов.

Функция одной переменной F задается в векторной форме, затем определяются пределы изменения переменной и число точек графика tgrid.

Число линий сетки можно не задавать. Пример использования функции CreateSpace приведен на рис. 27.

$$F(t) := \begin{pmatrix} t \cdot \sin(t) \\ t \cdot \cos(t) \\ t \end{pmatrix} \quad t0 := 0 \quad t1 := 16 \quad tgrid := 160$$

C := CreateSpace(F,t0,t1,tgrid)



C

Рис. 27. Пример использования функции CreateSpace

4. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

4.1. Построение прямой, проходящей через две заданные точки

Даны две точки A (x1, y1) и B(x2, y2). Задано x1=-1, y1=-1, x2=1, y2=1. Через эти точки надо провести прямую линию и найти расстояние между ними.

Уравнение прямой может быть записано так:

$$\frac{x - x1}{x2 - x1} = \frac{y - y1}{y2 - y1}$$

Угловой коэффициент определяется формулой:

$$k = \frac{y2 - y1}{x2 - x1}$$

Уравнение можно записать:

$$y = k \cdot (x - x1) + y1$$

Расстояние между двумя точками вычисляется по формуле:

$$r = \sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2}$$

На рис. 28 приведено решение этой задачи в системе *Mathcad*. Обратите внимание на форматирование графика и использование текстового блока для того, чтобы пометить точку A и B.

Провести через две точки прямую линию и найти расстояние между ними

$$x1 := -1 \quad y1 := -1 \quad x2 := 1 \quad y2 := 1$$

$$k := \frac{y2 - y1}{x2 - x1} \quad k = 1 \quad r := \sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2}$$

$$L(x) := k \cdot (x - x1) + y1 \quad r = 2.828$$

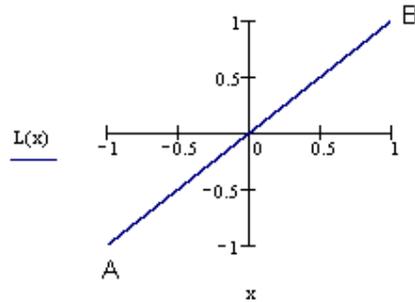


Рис. 28. График прямой, проходящей через две заданные точки

4.2. Построение графика функции $y = f(x)$, графика первой и второй производной этой функции

Найти производную первого и второго порядка функции $y = f(x)$ и на одном графике построить график функции $y = f(x)$, график первой и второй производной этой функции. Решение этой задачи приведено на рис. 29.

Построение графика функции $y=f(x)$, первой и второй производной этой функции

$$y(x) := \sin(2 \cdot x) + \cos(3 \cdot x)$$

$$y1(x) := \frac{d}{dx} y(x) \rightarrow 2 \cdot \cos(2 \cdot x) - 3 \cdot \sin(3 \cdot x)$$

$$y2(x) := \frac{d^2}{dx^2} y(x) \rightarrow -4 \cdot \sin(2 \cdot x) - 9 \cdot \cos(3 \cdot x) \quad +$$

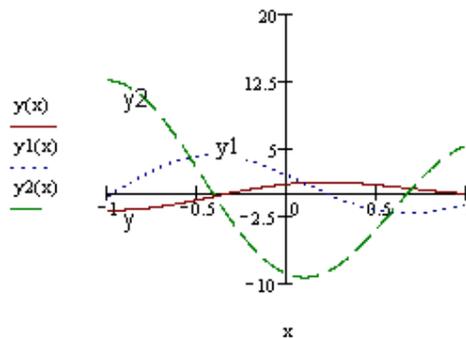


Рис. 29. График функции $y = f(x)$, первой и второй производной этой функции

4.3. Построение графика касательной и нормали к кривой $y = f(x)$

Надо построить график касательной и нормали к кривой $y = f(x)$ в точке с абсциссой a . Для этого необходимо найти первую производную функции $y = f(x)$.

Если функция $y = f(x)$ в точке a имеет конечную производную, то уравнение касательной имеет вид:

$$K = f(a) + f'(a)(x - a).$$

Если $f'(a) = \infty$, то уравнение касательной имеет вид: $x = a$.

Если $f'(a) \neq 0$, то уравнение нормали имеет вид:

$$N = f(a) - \frac{1}{f'(a)}(x - a).$$

Если $f'(a) = 0$, то уравнение нормали имеет вид: $x = a$.

Пример решения данной задачи приведен на рис. 30. Для правильного представления нормали масштабы по осям должны быть равны.

Построение касательной и нормали к кривой в заданной точке

$$y(x) := \cos(x) \quad a := 1$$

$$y1(x) := \frac{d}{dx} y(x) \rightarrow -\sin(x) \quad y1(a) = -0.841$$

$$k(x) := y(a) + y1(a) \cdot (x - a)$$

$$n(x) := y(a) - \frac{1}{y1(a)} \cdot (x - a)$$

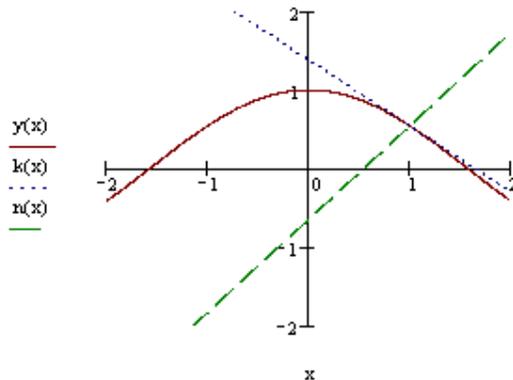


Рис. 30. График касательной и нормали к кривой в заданной точке

4.4. Построение графика касательной к кривой, заданной параметрически

Зависимость y от x задается посредством параметра t : $x = f(t)$, $y = g(t)$.

Надо построить касательную к кривой в точке A , соответствующей значению параметра $t = t_0$.

Вычислим координаты точки A : $a = f(t_0)$, $y(a) = g(t_0)$. Уравнение касательной имеет вид:

$$K = f(a) + f'(a)(x - a).$$

Необходимо найти значение первой производной в точке A . Зависимость y от x задается посредством параметра t формулами: $x = f(t)$, $y = g(t)/f'(t)$. В уравнении касательной $f(a) = g(t_0)$, $f'(a) = g'(t_0)/f''(t_0)$.

Пример построения касательной к кривой, заданной параметрически, приведен на рис. 31.

Построение касательной к кривой, заданной параметрически

$$\begin{aligned} f(t) &:= 2 \cdot e^t & t_0 &:= 0 & a &:= f(t_0) & a &= 2 \\ y(t) &:= e^{-t} & & & & & y(t_0) &= 1 \\ f'(t) &:= \frac{d}{dt} f(t) \rightarrow 2 \cdot \exp(t) & y'(t) &:= \frac{d}{dt} y(t) \rightarrow -\exp(-t) \\ k(x) &:= y(t_0) + (x - a) \cdot \frac{y'(t_0)}{f'(t_0)} \end{aligned}$$

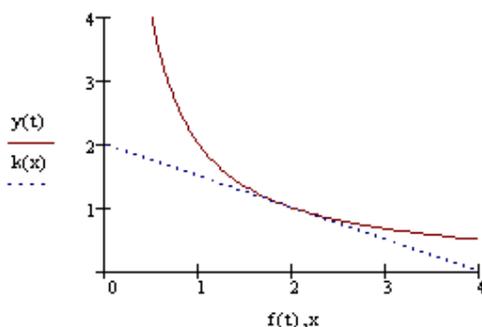


Рис. 31. График касательной к кривой, заданной параметрически

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие типы графиков можно построить, используя *Matchad 2000*?
2. Какие действия необходимо выполнить при создании графика?
3. Можно ли разместить несколько двумерных графиков на одном чертеже? Как это сделать? Сколько графиков может быть размещено на одном чертеже? Чем отличается один график от другого?
4. Можно ли изменить размеры графика? Как это сделать?
5. Можно ли изменить формат двумерного графика? Как вызвать окно форматирования двумерного графика?
6. Сколько вкладок содержит окно форматирования двумерного графика?
7. Какие параметры осей графика можно изменить?

8. Можно ли изменить линии графиков? Как это сделать?
9. Можно ли задать надписи на графиках? Как это сделать?
10. Как построить график в декартовой системе координат?
11. Как построить график с параметрическим заданием функции?
12. Как построить график в полярной системе координат?
13. Что необходимо задать для построения трехмерного графика?
14. Как через две точки провести прямую линию? Как определить расстояние между двумя точками?
15. Как провести касательную к кривой в заданной точке?
16. Как провести нормаль к кривой в заданной точке?
17. Какие типы трехмерных графиков Вы знаете? Чем они отличаются?
18. Можно ли изменить формат трехмерного графика? Как это сделать?
19. Как построить трехмерный график, используя Мастер построения трехмерных графиков?
20. Можно ли сменить тип трехмерного графика? Как это сделать?
21. Как построить объемную фигуру, образованную вращением кривой?
22. Какие полиэдры и как можно построить, используя *Matchad 2000*? В каком разделе справочной информации можно найти описание полиэдров?
23. С помощью какой команды можно увеличить любой участок двухмерного графика? Что для этого нужно сделать?
24. Как можно определить координаты какой-либо точки двухмерного графика?

6. ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

6.1. Даны две точки А (x_1, y_1) и В(x_2, y_2). Через эти точки надо провести прямую линию и найти расстояние между этими двумя точками. Пример решения этой задачи приведен в разделе 4.1.

Значение x_1, y_1, x_2 и y_2 :

№ п /п	x_1	y_1	x_2	y_2
1.	1	2	-2	-4
2.	2	-1	3	2
3.	-1	-3	3	2
4.	2	1	-3	-4
5.	-3	2	1	-3
6.	-4	1	2	4
7.	1	3	-1	5
8.	-3	-2	4	1
9.	-3	2	2	-1
10.	-2	-1	2	1
11.	-2	2	4	1
12.	-3	3	3	1

6.2. Найти производную первого и второго порядка функции $y = f(x)$ и на одном графике построить график функции $y = f(x)$, график первой и второй производной этой функции. Пример решения этой задачи приведен в разделе 4.2.

1. $y = x^3 - 3 \cdot x$.
2. $y = 12 \cdot x - x^3$.
3. $y = x^3/3 + x^2$.
4. $y = x^4/4 - 2 \cdot x^2$.
5. $y = x^2 \cdot e^{-x}$.
6. $y = (x^2 + 1) \cdot \ln(x)$.
7. $y = x - \ln(x)$.
8. $y = x \cdot e^{-x/2}$.
9. $y = \sin(2 \cdot x) \cdot \ln(x)$.
10. $y = (1 - x) \cdot e^x$.
11. $y = x + \sin(x)$.
12. $y = x \cdot \sin(x)$.

6.3. Построить график касательной и нормали к кривой $y = f(x)$ в точке с абсциссой a . Пример решения этой задачи приведен в разделе 4.3.

№ п/п	$y = f(x)$	a
1.	$x - x^2$	1
2.	$x^3 + x$	1
3.	$x^2 + \sqrt{x^3}$	1
4.	$\frac{2 + \sqrt{x}}{2 - \sqrt{x}}$	9
5.	$x^2 - x - 1$	1
6.	$x^2 + x + 1$	-1
7.	$\sqrt{x} - 2$	4
8.	$\sqrt[3]{x^2} - 9$	-27
9.	$32 \cdot \sqrt[4]{x} - x$	16
10.	$\frac{x^2 - 2 \cdot x + 2}{x^2}$	2
11.	$\sqrt{4 - 2 \cdot x^2}$	1
12.	$3\sqrt[3]{x^2} + 2 \cdot x + 2$	-1

6.4. Постройте кривую, заданную параметрически, и касательную к кривой в точке A, соответствующей значению параметра $t = t_0$. Пример решения этой задачи приведен в разделе 4.4.

№ п/п	t_0	$f(t)$	$y(t)$
1.	$\pi/2$	$t \cdot \sin(t)$	$1 - \cos(t)$
2.	1	$2x + t^2$	$2x - t^2$
3.	$\pi/6$	$\sqrt{3} \cdot \cos(t)$	$\sin(t)$
4.	1	$t - t^2$	$t - t^3$
5.	$\pi/2$	$t \times \cos(t)$	$t \times \sin(t)$
6.	$\pi/4$	$(\cos(t))^3$	$(\sin(t))^3$
7.	-1	$\sqrt{1 - t^2}$	$\arcsin(t)$
8.	1	$\ln(1 + t^2)$	$\text{arctg}(t)$
9.	$\pi/4$	$\ln(\text{tg}(t))$	$1/(\sin(t))^2$
10.	$\pi/4$	$t \times \sin(t) + \cos(t)$	$\sin(t) - t \times \cos(t)$
11.	0	x^t	e^{-2t}
12.	0	x^t	$\sin(t)$

6.5. Постройте кривую, заданную в полярной системе координат. Пример построения приведен в разделе 1.4.

№ пп	Уравнение кривой $r=f(\varphi)$	Название кривой
1.	$r=a \cdot \cos(4 \cdot \varphi)$	роза
2.	$r=a \cdot \varphi$	спираль Архимеда
3.	$r=a \cdot \varphi^2$	спираль Галилея
4.	$r^2=a^2 \cdot \varphi$	спираль Ферма
5.	$r=a \cdot \sin(3 \cdot \varphi)$	четырёхлепестковая роза
6.	$r=a \cdot \sin(2 \cdot \varphi)$	трехлепестковая роза
7.	$r=a \cdot \sin(\varphi/3)$	роза
8.	$r=a \cdot \sin(4 \cdot \varphi/3)$	роза
9.	$r=a \cdot \sin(\varphi/2)$	роза
10.	$r=a \cdot \sin(5 \cdot \varphi/3)$	роза
11.	$r=2 \cdot a \cdot \sin^2(\varphi)/\cos(\varphi)$	циссоида
12.	$r=a \cdot \cos(\varphi) + b$	улитка Паскаля

Коэффициенты a и b выберите самостоятельно. Постройте первый график, используя установки формата по умолчанию, а затем постройте второй график, в котором измените установки для осей координат и свойства графика.

6.6. Построить поверхность по матрице аппликат A порядка n ($n = 10$), элементы которой a_{ij} определяются с помощью функции $f(i, j)$:

1. $f(i, j) = i + 2j$.
2. $f(i, j) = i + 10j$.
3. $f(i, j) = 2i + 3j$.
4. $f(i, j) = 10i + j$.
5. $f(i, j) = 2 - i + 10j$.
6. $f(i, j) = i - j + ij$.
7. $f(i, j) = i \cdot i - (j - 2) \times (j - 2)$.
8. $f(i, j) = 2i \cdot i - 3j \cdot j$.
9. $f(i, j) = (i - 1) \times (j + 3)$.
10. $f(i, j) = (i + 2) \times (j - 4)$.
11. $f(i, j) = i^3 + j$.
12. $f(i, j) = (i - 2) \times (j - 2)$.

Для построения поверхности используйте следующие типы графиков: Surface Plot (трехмерный график), Contour Plot (контурный график трехмерной поверхности), 3D Scatter Plot (график в виде точек (фигур) в трехмерном пространстве), 3D Bar Chart (изображение в виде совокупности столбиков в трехмерном пространстве), Vector Field Plot (график векторного поля на плоскости). Выберите график, который наилучшим образом характеризует поверхность. Пример построения поверхности по матрице аппликат приведен в разделе 2.1.

6.7. Постройте трехмерный график с применением Мастера построения трехмерных графиков. Пример работы с Мастером построения трехмерных графиков приведен в разделе 2.7.

Функция двух переменных $z = f(x, y)$:

№ п /п	$z = f(x, y)$
1.	$z = \sin(x) \cdot \cos(y)$
2.	$z = x^2 + y + x \cdot y^2$
3.	$z = x^2 + y^2$
4.	$z = e^{\sin(x)} \cdot \cos(y)$
5.	$z = x \cdot e^y$
6.	$z = x^2 \cdot \sin(y)$
7.	$z = x^2 \cdot y^2$
8.	$z = x^2 \cdot \cos(y)$
9.	$z = 2x^2 - y^3$
10.	$z = x \cdot \cos(x) + y \cdot \sin(x)$
11.	$z = e^x \cdot \sin(y)$
12.	$z = x \cdot \cos(y) + y \cdot \sin(x)$

6.8. Построить фигуру полиэдра, используя функцию Polyhedron. При выполнении работы в справочной системе *Matchad 2000* (таблицы Reference Table раздел Polyhedra) найти описание заданного полиэдра. Пример построения приведен в разделе 3.2.

№ п /п	Номер кода
1.	#6
2.	#10
3.	#12
4.	#27
5.	#7
6.	#28
7.	#9
8.	#13
9.	#8
10.	#15
11.	#21
12.	#23

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов В.П. Справочник по Mathcad PLUS 6.0 PRO. - М.: «СК Пресс», 1997. - 336 с.
2. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. Mathcad 8 PRO в математике, физике и в Internet. - М.: «Нолидж», 1999. - 512 с.
3. Дьяконов В. Mathcad 8/2000. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2001. – 592 с.
4. Зими́на О.В., Кириллов А.И., Сальникова Т.А. Высшая математика. – М.: Физико-математическая литература, 2000. – 368 с.
5. Мироненко Е.С. Высшая математика. Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников инженерных специальностей вузов. – М.: Высшая школа, 1998. – 110 с.
6. Очков В.Ф. Mathcad PLUS 6.0 для инженеров и студентов. - М.: ТОО фирма «КомпьютерПресс», 1996. – 238 с.
7. Плис А.И., Сливина Н.А. Mathcad: математический практикум для экономистов и инженеров: Учебное пособие. - М.: Финансы и статистика, 1999. - 656 с.
8. Райхмист Р.Б. Графики функций: задачи и упражнения. - М.: Школа-Пресс, 1997. - 384 с.
9. Mathcad 6.0 PLUS . Финансовые, инженерные и научные расчеты в среде Windows 95. - М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 1997. - 712 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ДВУХМЕРНЫЕ ГРАФИКИ	4
2. ТРЕХМЕРНЫЕ ГРАФИКИ	13
3. СПЕЦИАЛЬНАЯ ГРАФИКА	24
4. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ	28
5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ	31
6. ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	32
ЛИТЕРАТУРА	36

Алексей Михайлович Никулин
Наталия Захаровна Емельянова

ГРАФИКА В СИСТЕМЕ МАТНСАД

Методические указания к выполнению лабораторной работы

Редактор М.А. Соколова
Подписано в печать 10.02.2003. Объем 2.5 п.л.
Тираж 100 экз.

Отпечатано в Издательско-типографском центре МАТИ – РГТУ им. К.Э. Циолковского, 109240, Берниковская наб., 14