

Вывод результатов на графики

Вопрос. Мне нужна очень подробная консультация по построению графиков в системе MathCad. Заранее спасибо! Романенко Анастасия (DinoS@ Rambler.ru).

Ответ. Подробная консультация потребует пространного ответа, поэтому ограничимся описанием основных способов вывода результатов на графики, опуская ряд специальных функций типа **CreateMesh** и **CreateSpace**., а также процедуры формирования поверхностей вращением плоских кривых вокруг осей ординат и абсцисс.

Системы MathCAD Pro имеют широкие графические возможности, позволяя выводить результаты на двумерные графики (2D-графики) в декартовых и полярных координатах, а также на трехмерные графики (3D-графики) семи типов. Из них два типа предназначены для точечного построения 3D-графиков (**3D-Data Point Plot** и **3D-Scatter Plot**) и составляют одну группу. Эти два типа не могут быть использованы одновременно, поскольку первый тип предназначен для точечного изображения поверхностей, а второй – для точечного представления пространственных кривых.

Вывод результатов вычислений на графики неотделим от процедур их ввода и форматирования, которые содержат этапы вызова шаблона соответствующего графика, ввод обозначений в незаполненные маркеры шаблонов и обращение к диалоговым окнам форматирования. На заключительной стадии может осуществляться анимация графиков. Остановимся вкратце на общих вопросах графического вывода, опуская приемы форматирования и оставляя в стороне специальные возможности и приемы.

Для ввода графиков могут быть использованы: активизация опции **Insert\Graph** главного меню MathCAD Pro с последующим выбором типа графика из выпадающего меню; нажатие второй кнопки первого ряда математической палитры с выбором соответствующей пиктограммы графика; специальные клавиши. Все эти пути приводят к одинаковому результату – на экране появляется шаблон двумерного или трехмерного графика соответствующего типа. Шаблоны графиков имеют маркеры ввода, которые необходимо заполнить.

Шаблон двумерного графика по умолчанию имеет два маркера ввода (по одному для осей ординат и абсцисс), число которых может быть увеличено для каждой из осей нажатием на клавишу **,** (латинская запятая). В маркеры вводятся соответствующие функции и их аргументы. При построении нескольких двумерных графиков в одних осях требуется ввод нескольких функций и аргументов, маркеры для которых получают с использованием клавиши **,** (латинская запятая).

Шаблон 3D-графика по умолчанию имеет один маркер ввода. При построении нескольких трехмерных графиков в одних осях и при использовании специальных функций, число маркеров их шаблонов также может быть увеличено с использованием клавиши **,** (латинская запятая). Эти маркеры должны быть заполнены. В простейшем случае, при построении 3D-графика по предварительно сформированному двумерному массиву (матрице), в единственный маркер ввода следует ввести символ массива (матрицы).

После заполнения всех маркеров ввода шаблона графика, его появление вызывается щелчком мыши по зоне выделения (черная рамка) графика или вне этой зоны. График появится при корректном вводе данных по осям и только в том случае, когда верхняя рамка выделения зоны графика расположена на уровне или ниже той части документа, в которой определяются функции для последующего построения. В противном случае график не будет изображен системой, о чем будут свидетельствовать системные сообщения об ошибках.

Графики могут быть построены с использованием исходных массивов в виде ряда значений и в векторно-матричном виде. Возможно также и сочетание этих видов исходных данных при построении нескольких кривых на одном графике. Для

воспроизведения гладких функций (поверхностей) исходные массивы должны вычисляться с необходимым шагом изменения аргументов. Возможности MathCAD Pro позволяют строить несколько 2D-графиков и 3D-графиков в одних осях.

Простейшим способом вывода результатов на график служит использование исходных массивов в виде ряда значений. В случае, когда пределы изменения не устанавливаются пользователем, система автоматически устанавливает симметричные пределы и строит график в автоматическом режиме. Однако диапазоны аргументов, устанавливаемые системой, как правило, необходимо менять с целью достижения большей информативности графика.

На 2D-график можно вывести одну, две и более функций одного или нескольких аргументов. Процедуру вывода нескольких функций на двумерный график рассмотрим для случая двух функций. На рис. 3 приведены примеры вывода на 2D-график двух функций, заданных своими выражениями. Для вывода их на график простейшим способом, с использованием массивов в виде ряда значений, следует выполнить следующие действия:

1. вызвать шаблон двумерного графика в декартовых координатах (Shift + 2);
2. в левый маркер ввода (ось ординат) ввести имя первой функции;
3. охватить угловым курсором введенное имя функции справа и нажать на клавишу , (запятая);
4. в появившийся ниже маркер ввести имя второй функции;
5. в нижний маркер ввести обозначение аргументов, использованное в функциях на оси ординат;
6. щелкнуть рабочей кнопкой мыши.

В результате описанных действий появится некоторый вариант графика, содержащий две кривые в одних осях, который может быть отформатирован нужным образом. Для добавления очередной кривой на тот же 2D-график, позиции 3 и 4 повторяются. При наличии у функций, которые выводятся на 2D-график, различных аргументов, они вводятся в порядке перечисления функций в маркеры на оси абсцисс через запятые. Например, если по оси ординат 2D-графика введены функции $f_1(x_1)$, $f_3(x_3)$ и $f_2(x_2)$ в указанном порядке, то на оси абсцисс через запятые вводятся x_1 , x_3 и x_2 .

Для форматирования необходимо вызвать диалоговое окно (Formatting Currently Selected X-Y Plot), что удобно делать двойным щелчком мыши по зоне графика. Слева (см. рис. 3) изображен вариант графика, после форматирования, в процессе которого выбран стиль осей Boxed; диапазоны изменения: аргумента – от 0 до 10, функций – от -5 до 10; толщина линий 2; solid (сплошная линия) для функции f и dash (штрих) для функции f_1 .

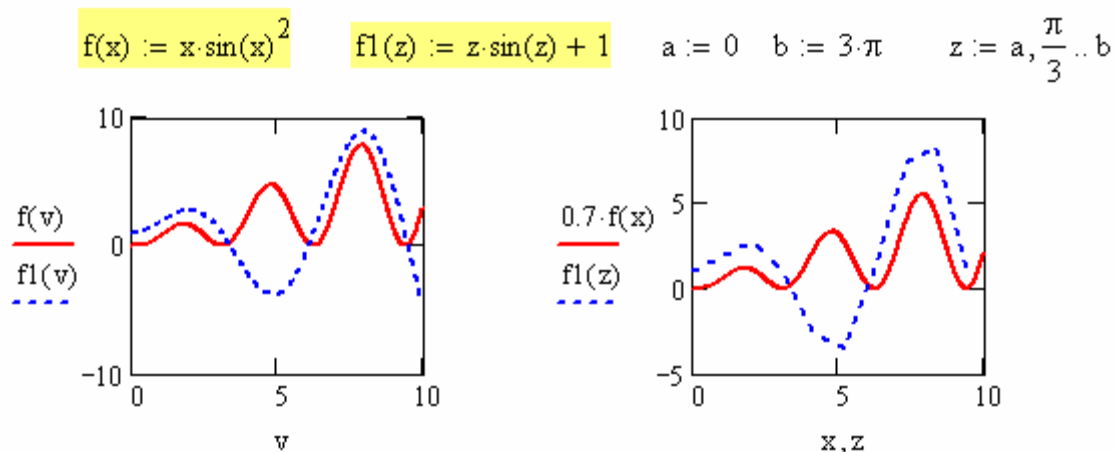


Рис. 3. Примеры построения двумерного графика

Следует обратить внимание на то, что при построении графиков (см. рис. 3, левый график) осуществлена замена аргумента. Это сделано специально, для иллюстрации возможности использования произвольных обозначений для аргументов при графическом выводе с применением ряда значений функций.

Правый график (см. рис. 3) построен для двух аргументов, причем один из них (z) предварительно задается как ранжированная переменная, изменяющаяся в интервале от a до b с шагом $(\pi/3 - a)$. Для иллюстрации влияния шага изменения аргумента на гладкость получаемой кривой, для z выбран достаточно большой шаг, не обеспечивающий гладкость кривой $f_1(z)$. Обеспечение должной гладкости отображения данной функции обеспечивается уменьшением шага в два-три раза.

Отдельные кривые на графиках могут быть масштабированы умножением на коэффициенты, как это сделано для функции $f(x)$.

Рис. 4 содержит результаты вывода на график тех же функций по предварительно сформированным векторам их значений. Графики (см. рис. 4) иллюстрируют два варианта использования векторных массивов для графического вывода: поэлементный, когда по осям откладываются элементы соответствующих векторов, и векторный, в котором по осям откладываются векторы значений. Графики, построенные для рассматриваемого примера по второму варианту (см. рис. 4, справа) получены с использованием `points` (точки) для представления графика функции f и `step` (ступени) – для f_1 . Эти и другие варианты представления кривых устанавливаются на панели `Traces` диалогового окна форматирования (список `Type`).

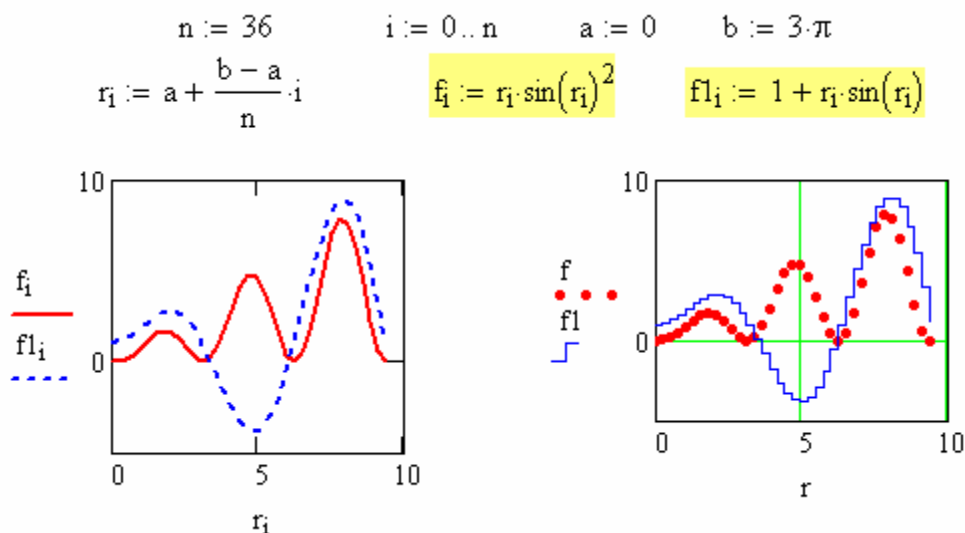


Рис. 4. Вывод на график векторных массивов данных

Основные приемы вывода результатов на трехмерные графики также достаточно просты, однако, этап форматирования 3D-графиков значительно сложнее. Это объясняется широким набором средств форматирования трехмерных графиков в MathCAD Pro, которые включают выбор вариантов оформления (параметров граней, ребер, заливки), задание углов ориентации, использование спецэффектов (туман, степень прозрачности, прямая и обратная перспектива, направления подсветки) и многое другое. Форматирование осуществляется при помощи диалогового окна, которое удобно вызывать двойным щелчком мыши по зоне 3D-графика. Построенный трехмерный график можно рассматривать с любой стороны, разворачивая его протяжкой мыши. При нажатой клавише `Shift` протяжкой мыши можно «запустить» непрерывное вращение 3D-графика.

Аналогично способам вывода результатов на двумерные графики, при построении 3D-графиков можно использовать исходные массивы в виде ряда значений, а также в матричном виде. Последний вариант включает и сложные структуры матриц, содержащие

блочные матрицы в качестве вложенных, закодированных массивов (nested arrays), элементы которых представлены лишь своими размерностями.

Среди 3D-графиков наиболее часто используются графики поверхностей (**Surface Plot**) в ортогональной системе координат, шаблон которых удобно вводить клавишами Ctrl + 2. Графики линий уровня (**Contour Plot**) и векторного поля (**Vector Field Plot**) по существу являются двумерными и позволяют исследовать линии равных значений двумерной функции и крутизну поверхности в каждой ее точке. Два типа 3D-графиков – точечные трехмерные графики (**3D-Scatter Plot**) и трехмерные диаграммы (**3D-Bar Plot**) позволяют осуществлять изображение поверхностей в виде множества точек и в форме трехмерной столбчатой диаграммы (гистограммы).

Учитывая ведущую роль трехмерных поверхностей (**Surface Plot**) в практике решения прикладных задач, рассмотрим средства, которые имеются в MathCAD Pro для их построения.

Трехмерный график можно построить тремя основными способами:

- * по двумерному массиву данных в форме ряда значений (не матрицы в полном смысле этого термина);
- * формированием массива данных в виде матрицы путем программирования функциональной зависимости ее элемента от аргументов;
- * применением встроенной функции **matrix(m,n,f)**, где m и n – число строк и столбцов матрицы, f – обозначение функции двух переменных.

В последних версиях MathCAD Pro появились еще две встроенные функции (**CreateMesh** и **CreateSpace**) для построения поверхностей и пространственных кривых. Функции этого типа позволяют строить очень сложные пространственные фигуры, поскольку могут использовать в качестве основы не только скалярные функции двух переменных, но и векторные функции одной и двух переменных.

Использование исходных массивов в виде ряда значений при построении 3D-графиков имеет особенности: при выводе данных на график этим способом, система строит, например, поверхность для диапазона изменения аргументов в пределах от -5 до 5 независимо от установок диапазонов аргументов при форматировании. Диапазоны для каждой из трех осей 3D-графиков устанавливаются на панели Axes диалогового окна форматирования 3D-графиков (область Axis limits, со снятым флажком Auto Scale). Второй способ построения 3D-графика, как и в двумерном случае, базируется на предварительном задании ранжированных переменных (индексов элементов матрицы) и программировании ее элемента. Третий способ позволяет превратить функцию двух переменных $f(x, y)$ в матрицу ее значений, задавая только число строк и столбцов, а также первый символ функции. Этот способ близок ко второму, поскольку также использует ввод ранжированных переменных, минимальное значение которых равно нулю, а максимальные – $(m - 1)$ и $(n - 1)$ соответственно.

Проиллюстрируем особенности этих способов построения 3D-графиков на примере двумерной функции вида: $f(x, y) = \cos(0.1xy)$. На рис. 5 (слева) приведен график, построенный первым, самым простым и быстрым, способом.

Для его реализации необходимо лишь ввести функцию двух аргументов, вызвать шаблон графика и ввести в его единственный маркер ввода обозначение функции. По щелчку мыши появляется график, построенный системой для значений аргументов, изменяющихся в диапазоне от -5 до 5 . На правом графике реализован второй способ; желание получить то же изображение, что и на левом графике, вызвало необходимость ввести замену переменных. Такая подстановка обеспечивает указанный выше диапазон изменения аргументов, в результате чего получаем ту же фигуру.

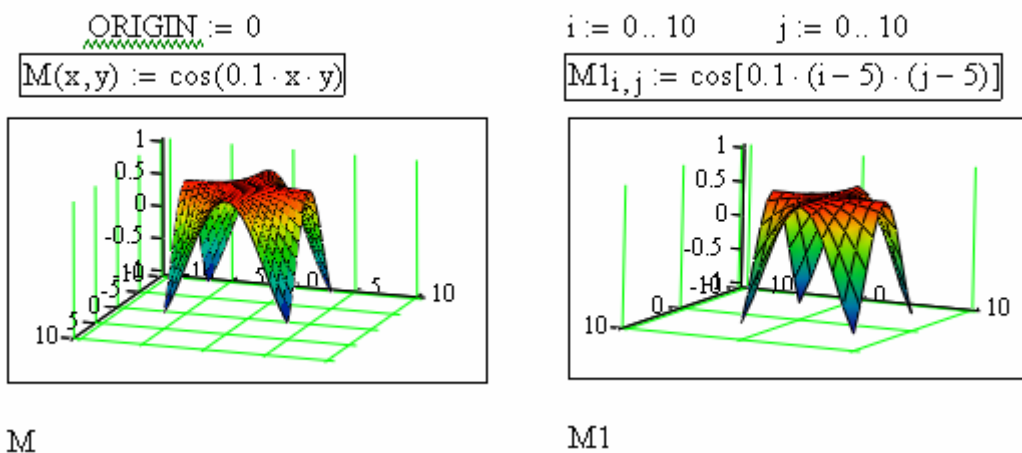


Рис. 5. Построение 3D-графика первым и вторым способами

Графики рис. 5 имеют следующие параметры форматирования: диапазон горизонтальных осей $(-10, 10)$ и диапазон вертикальной оси $(-1, 1)$ установлены на панели Axes диалогового окна форматирования 3D-графиков (область Axis limits, флажок Auto Scale снят); на панели Axes (область Grid) для горизонтальных осей левого графика поставлены флажки Draw Lines и Auto Grid (по 4 линии сетки по умолчанию), для вертикальной оси установлен только флажок Auto Grid; для всех осей по умолчанию принята разметка осей (Number) четырьмя значениями. Для правого графика приняты аналогичные параметры форматирования, за исключением разбивки осей (параметр Number = 2). Левый график, таким образом, построен системой над квадратом горизонтальной плоскости, ограниченным диапазоном каждого аргумента $(-5, 5)$; правый график – над квадратом горизонтальной плоскости, ограниченным диапазоном $(0, 10)$ изменения номеров строк и столбцов матрицы.

Результаты использования встроенной функции **matrix** для построения ранее полученных изображений приведены на рис.6 для варианта без спецэффектов (левый график) и с введенным туманом на графике справа. Туман вводится на панели Advanced окна форматирования установкой флажка Enable Fog. При построении графиков был выбран тип трехмерных графиков **Surface Plot**.

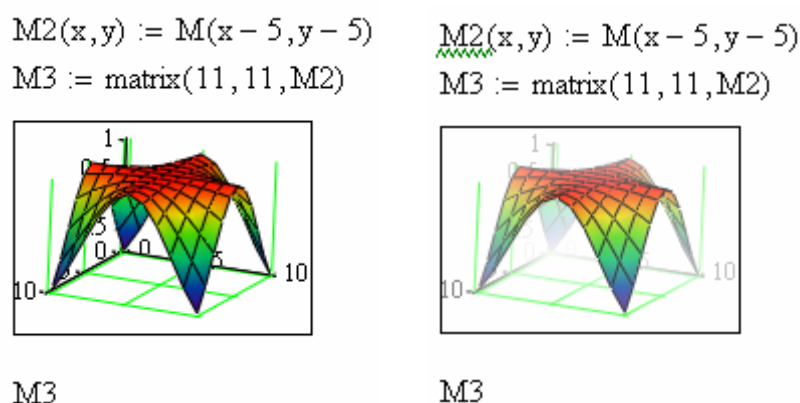


Рис. 6. Построение 3D-графика третьим способом

Части массивов данных, которые выведены на графики рис. 5 и рис. 6, показаны на рис. 7. Ряд значений, который использовался в первом способе построения графика, имеет вид вектора, составленного из столбцов виртуального двумерного массива $M(x, y)$. Этот массив в матричном виде представлен двумя первыми столбцами матриц **M1** и **M3**, которые использовались при построении графиков вторым и третьим способами. Сопоставление массивов показывает полное совпадение их соответствующих элементов.

Это проясняет особенности работы встроенной функции **matrix(m,n,f)**, которая формирует двумерный массив по значениям $f(x, y)$, полученным для значений аргументов x и y , меняющихся с единичным шагом в диапазоне от нуля до m и n соответственно.

Два примера построения двух 3D-графиков в одних осях приведены на рис. 8. В первом из них построена поверхность и ее линии уровня, для чего на панели General окна форматирования в области Plot 1 выбран тип первого графика **Surface Plot**, а в области Plot 2 – тип **Contour Plot** для второго графика. Во втором примере дополнительно к поверхности построена плоскость равных значений Z ; тип двух графиков (см. рис. 8, справа) принят одним и тем же – **Surface Plot**.

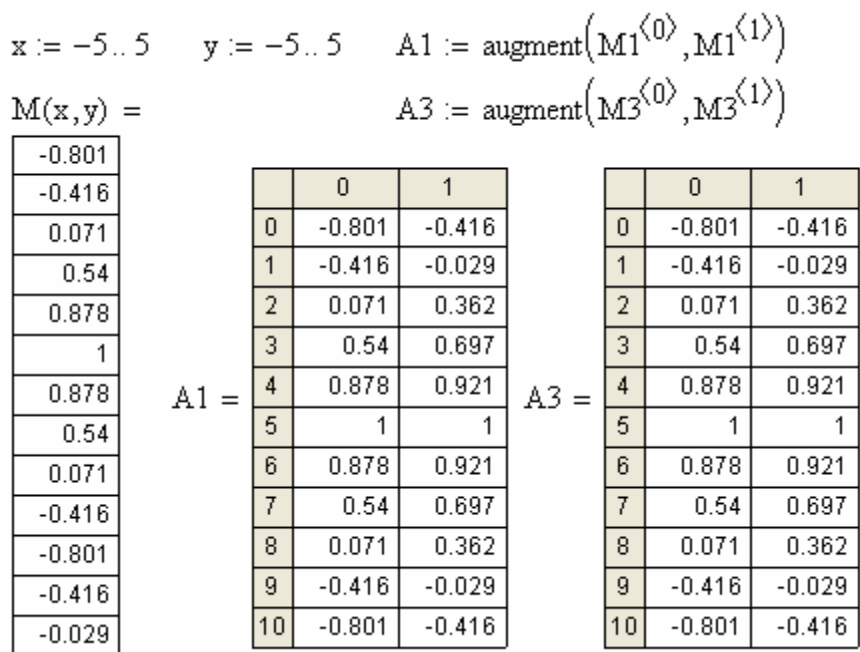
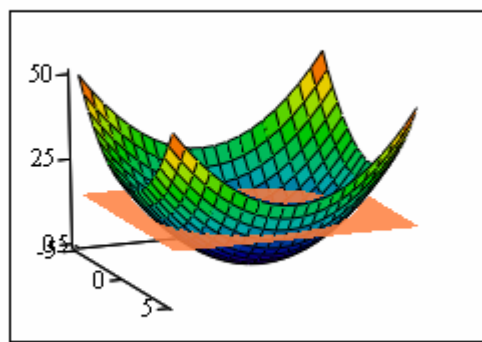
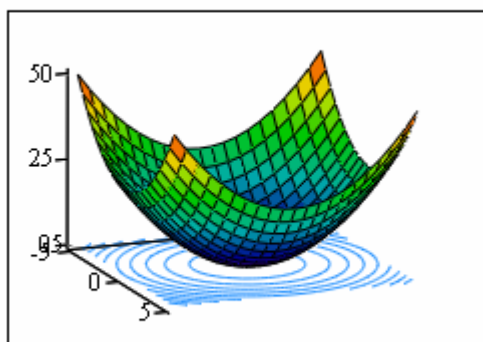


Рис. 7. Форма двумерных массивов

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

$$Z(x, y) := 15$$



D, D

D, Z

Рис. 8. Построение двух 3D-графиков в одних осях