

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра информатики

М.И. Глотова, О.В. Приходько

# ОСНОВЫ РАБОТЫ В СРЕДЕ MathCAD. ПРОСТЕЙШИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Часть 1

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических рекомендаций для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования на инженерных непрофильных направлениях подготовки

Оренбург  
2013

УДК 004.4(076.5)  
ББК 32.973-018.2я7  
Г 54

Рецензент - кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
отдела геоэкологии Оренбургского научного центра Уральского отделение  
РАН О.А. Никонорова

**Глотова М.И., О.В. Приходько**

**Г 54** Основы работы в среде MathCAD. Простейшие вычисления: методические рекомендации. Ч. 1 / М.И. Глотова, О.В. Приходько; Оренбургский гос. ун-т. - - Оренбург: ОГУ, 2013. - 93 с.

Методические рекомендации представляют собой соединение теоретического и практического материала по совокупности тем для самостоятельной работы студентов 1 курса по освоению раздела «Решение задач в среде MathCAD», являющегося практико-ориентированным разделом дисциплины «Информатика». В рекомендациях изложены основные понятия, алфавит, объекты среды MathCAD, синтаксис их использования, рассмотрены правила простейших вычислений, построения декартовых и полярных графиков.

Рекомендации снабжены подробными алгоритмами решения типовых задач, материалом для контроля усвоения теории, упражнениями и задачами для самостоятельной работы, что облегчает самостоятельное освоение информационной технологии.

Методические рекомендации предназначены для бакалавров инженерных непрофильных направлений 260100.62 Технология продуктов из растительного сырья, 260800.62 Технология продукции и организация общественного питания, 160400.62 Ракетные комплексы и космонавтика, 160100.62 Авиастроение, изучающих информатику. Рекомендуется также для студентов первых курсов, обучающихся по образовательным программам высшего профессионального образования на непрофильных направлениях. Рекомендации могут быть эффективно использованы при организации самостоятельной работы на аудиторных занятиях, в деятельности компьютерных курсов и кружков.

УДК 004.4(076.5)  
ББК 32.973-018.2я7

© Глотова М.И.,  
© Приходько О.В., 2013  
© ОГУ, 2013

## Содержание

Введение .....	4
1 Первое знакомство со средой MathCAD .....	6
1.1 Элементы интерфейса среды MathCAD .....	6
1.2 Структура MathCAD-документа.....	10
1.3 Вопросы для самоконтроля .....	12
1.4 Упражнения для самостоятельной работы .....	12
2 Основные понятия среды MathCAD.....	13
2.1 Алфавит и объекты входного языка MathCAD.....	13
2.1.1 Переменные. Определение переменных .....	15
2.1.2 Функции. Определение функций.....	25
2.1.3 Выражения. Правила формирования выражений .....	28
2.2 Вопросы для самоконтроля .....	36
2.3 Упражнения для самостоятельной работы .....	38
2.4 Задачи для самостоятельной работы.....	39
3 Создание графических областей в документе MathCAD.....	42
3.1 Классификация графических областей в среде MathCAD.....	42
3.2 Построение декартовых графиков.....	44
3.3 Построение графиков нескольких функций в одной плоскости .....	49
3.4 Форматирование графиков.....	54
3.5 Построение графиков в полярной системе координат.....	73
3.6 Исследование графиков.....	76
3.7 Вопросы для самоконтроля .....	81
3.8 Упражнения для самостоятельной работы.....	83
3.9 Задачи для самостоятельной работы.....	84
Список использованных источников .....	89
Приложение А Перечень матричных операторов.....	90
Приложение Б Перечень встроенных функций системы MathCAD.....	91
Приложение В Перечень вычислительных операторов .....	92

## Введение

В последнее время широкое распространение получили пакеты математических программ (или математические системы), которые можно использовать для различных вычислений и построения графиков, поверхностей, тел (Mathematica, Derive, Statistica, MathCAD, MathLAB и др.). В этих системах процесс вычислений достаточно хорошо (сильно) автоматизирован, что позволяет экономить время и больше внимания уделять физическому смыслу получаемого результата при решении задачи. Выбор системы зависит от характера решаемых задач, от вкуса, от опыта практической деятельности в определенной предметной области.

Система MathCAD является разработкой фирмы MathSoft. Пакет MathCAD создан разработчиками как инструмент для работы инженеров. Он не предназначен для профессиональных математиков. Для них есть другие системы, ориентированные на области символьной математики и математической статистики. Пакет MathCAD в том виде, в котором он создан, не предназначен и для программирования сложных задач. Для этого есть, например, система MathLAB, а также современные языки программирования

Пакет MathCAD создавался как мощный микрокалькулятор, позволяющий легко справляться с рутинными задачами инженерной практики, ежедневно встречающимися в работе. Сюда можно отнести решение алгебраических и дифференциальных уравнений, анализ функций, численное и аналитическое дифференцирование и интегрирование, вывод таблиц и графиков при анализе найденных решений.

Основными достоинствами пакета являются:

- легкость и наглядность программирования задач;
- запись сложных математических выражений в том виде, в котором они обычно записываются инженерами на бумаге;
- простота в использовании;
- возможность создания встроенными средствами качественных отчетов с таблицами, графиками, текстом.

Пакет MathCAD популярен во всем мире. Ежегодно выпускаются новые версии, улучшается интерфейс, расширяются возможности отдельных функций. В настоящих рекомендациях изложение материала ведется на примере рассмотрения версии MathCAD 14.

Использование данных методических рекомендаций позволит студенту самостоятельно освоить базовые темы раздела «Решение задач в среде MathCAD». Структура рекомендаций представляет собой органичное сочетание теории и практики по использованию средств MathCAD для решения инженерных задач. В нее входит изложение теоретического материала, которое ведется на основе рассмотрения алгоритмов типовых задач с демонстрацией графических иллюстраций, что позволит обучающемуся получить теоретические знания, практические навыки, а также даст возможность научиться создавать самостоятельно оптимальные алгоритмы для решения других задач. Порядок сле-

дования тем рекомендаций построен на основе принципа преемственности, т.е. в освоении материала новой темы используется обучающимся приобретенный ранее опыт.

Каждый законченный блок материала сопровождается вопросами для самоконтроля, упражнениями, предназначенными для закрепления и совершенствования знаний, умений и навыков по формированию текстовых и вычислительных областей MathCAD и имеющими репродуктивный характер, а также задачами реконструктивного характера (с элементами эвристики) для самостоятельной работы, которые будут способствовать актуализации необходимых информационных умений и навыков, развитию методологических знаний в области информатики, формированию новых технологических умений, ценностного отношения к информации, информационным технологиям, накоплению опыта познавательной деятельности, т.е. уровневому развитию информационной компетентности. Методические рекомендации снабжены обязательными приложениями, самостоятельное изучение которых позволит не только более углубленно освоить материал, но и выполнить решить задачи реконструктивного характера с элементами эвристики.

Данный методический материал составлен на основе опыта автора по преподаванию информатики и информационных технологий на инженерных непрофильных направлениях Оренбургского государственного университета.

Методические рекомендации предназначены для бакалавров инженерных непрофильных направлений 260100.62 Технология продуктов из растительного сырья, 260800.62 Технология продукции и организация общественного питания, 160400.62 Ракетные комплексы и космонавтика, 160100.62 Авиастроение, изучающих информатику. Рекомендуется также для студентов первых курсов, обучающихся по образовательным программам высшего профессионального образования на непрофильных направлениях.

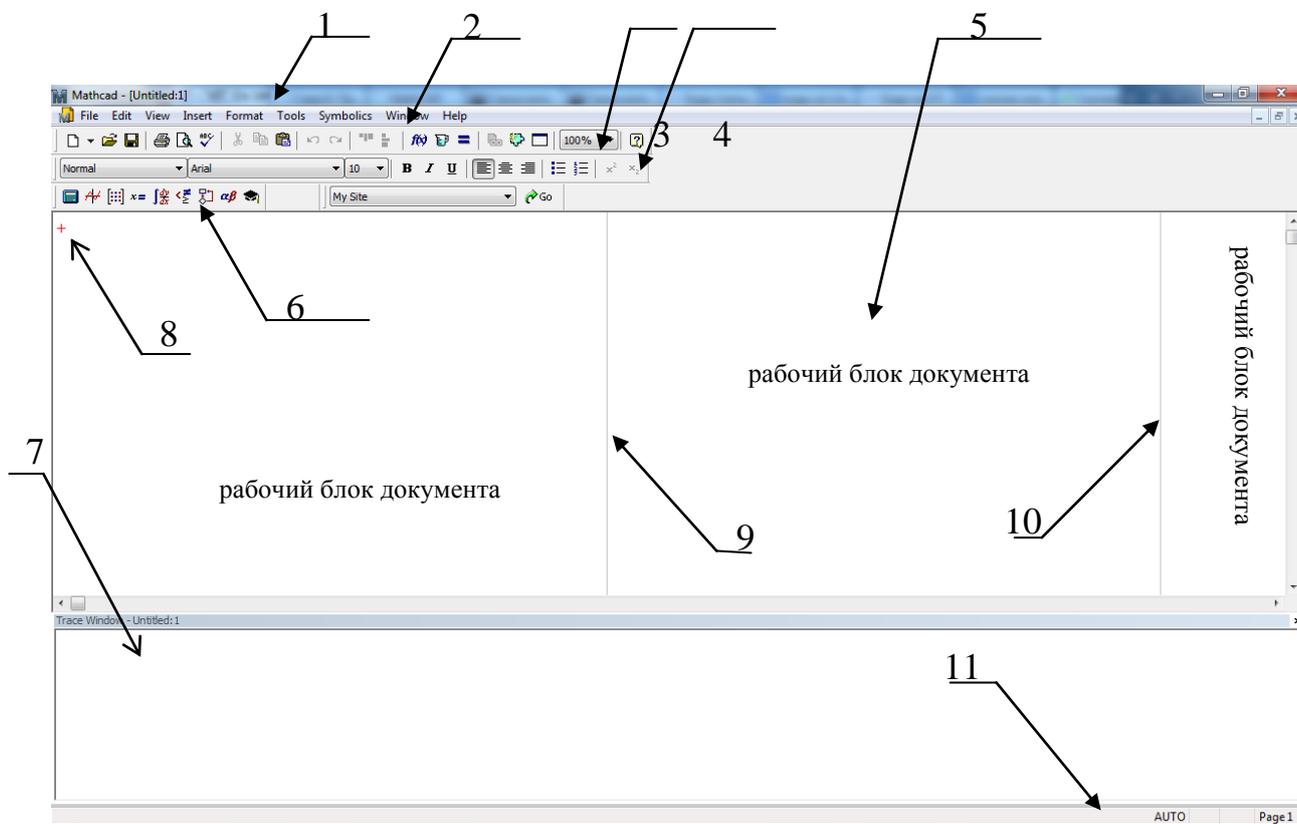
# 1 Первое знакомство со средой MathCAD

## 1.1 Элементы интерфейса среды MathCAD

MathCAD - это интегрированная система программирования, ориентированная на проведение математических и инженерно-технических расчетов.

В состав среды MathCAD входят несколько интегрированных между собой компонентов:

- редактор для ввода и редактирования текста и формул;
- вычислительный процессор, предназначенный для проведения расчетов согласно введенным формулам;
- символьный процессор, обладающий возможностями системы искусственного интеллекта;
- графический процессор.



1 – строка заголовка; 2 – горизонтальное меню; 3 - панель инструментов **Standard** (Стандартная); 4 – панель инструментов **Formatting** (Форматирование); 5 – рабочая область; 6 – панель инструментов **Math** (Математика); 7 – окно отслеживания ошибок вычислений (отладки); 8 – курсор для позиционирования (крестообразной формы красного цвета); 9,10 - разделительные линии блоков документа; 11 – строка состояния.

Рисунок 1 – Интерфейс окна среды MathCAD

Внешний вид (интерфейс) окна приложения MathCAD аналогичен окнам приложений интегрированного пакета MS Office операционной системы семейства Windows (Word, Excel, Access и др.).

Для того, чтобы начать работать в среде MathCAD необходимо выполнить команду Пуск→Все программы→ MathCAD. На рисунке 1 представлен внешний вид окна программы. По умолчанию документ MathCAD имеет имя **Untitled:1** (безымянный), которое можно изменить при выполнении команды сохранения документа на носитель.

Следует отметить, что по умолчанию после запуска среды в окне приложения присутствуют обычно только три панели инструментов, указанные на рисунке 1, однако пользователь может при необходимости подключить остальные имеющиеся панели инструментов **Controls**, **Resources** и **Debug** (рисунок 2) с помощью команды горизонтального меню View→Toolbars.

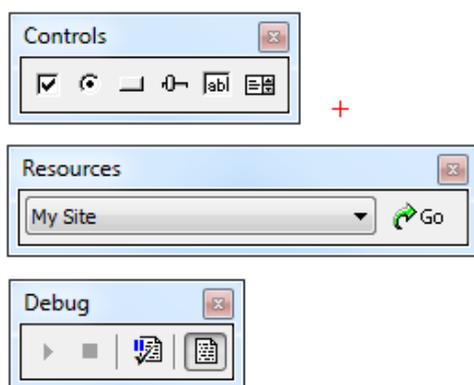


Рисунок 2 – Панели инструментов Controls, Resources и Debug.

Пиктограммы панели Standard дублируют основные команды горизонтального меню, предназначенные для работы с файлом в целом (создать, открыть, сохранить т.п.). На панели Formatting собраны команды, предназначенные для форматирования текста, такие как изменение стиля и шрифта текста, выравнивание, создание списков и т.п. Панель Controls служит для вставки в документ стандартных элементов управления интерфейса пользователя (флажков, переключателей, полей ввода и т.п.). Панель Resources служит для вызова ресурсов MathCAD (примеров, учебников, но только на английском языке). Панель инструментов Debug предназначена для отладки процесса вычислений (обеспечение итогов, прерываний, прослеживание ошибок в специальном окне).

Наибольший интерес в системе MathCAD представляет математическая панель Math. Она отражает специфику интерфейса среды, является базовой панелью инструментов, т.к. используется при решении практически любой задачи, содержит перемещаемые палитры математических знаков, символов, шаблонов операторов и функций.

Панель Math состоит из 9 кнопок, каждая из которых включает соответствующую палитру (рисунок 3). Краткое описание панели инструментов Math представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Панель инструментов Math

Пиктограмма	Название подключаемой палитры (панели)	Назначение палитры (панели)
	<b>Calculator</b>	служит для ввода арифметических операций и часто используемых простых функций. Эта палитра фактически дублирует обычный калькулятор
	<b>Graph</b>	содержит команды для построения семи типов графиков
	<b>Matrix</b>	предназначена для создания векторов и матриц и осуществления некоторых операций для работы с ними
	<b>Evaluation</b>	предназначена для вставки операторов управления вычислениями и для вставки пользовательских операторов
	<b>Calculus</b>	позволяет вычислять производные, определенные и неопределенные интегралы, пределы функций и др.
	<b>Boolean</b>	предназначена для вставки операций сравнения и логических операций
	<b>Programming</b>	содержит инструменты программирования, позволяющие формировать программы-функции в среде MathCAD, реализующие алгоритмы различных структур (следование, ветвление, цикл)
	<b>Greek</b>	содержит буквы греческого алфавита
	<b>Symbolic</b>	содержит команды, управляющие символьными вычислениями

Рабочее поле представляет собой белую область, на которой размещаются все вычисления. Определенной организационной структуры на рабочем листе MathCAD нет, поэтому вычисления располагаются любым образом.

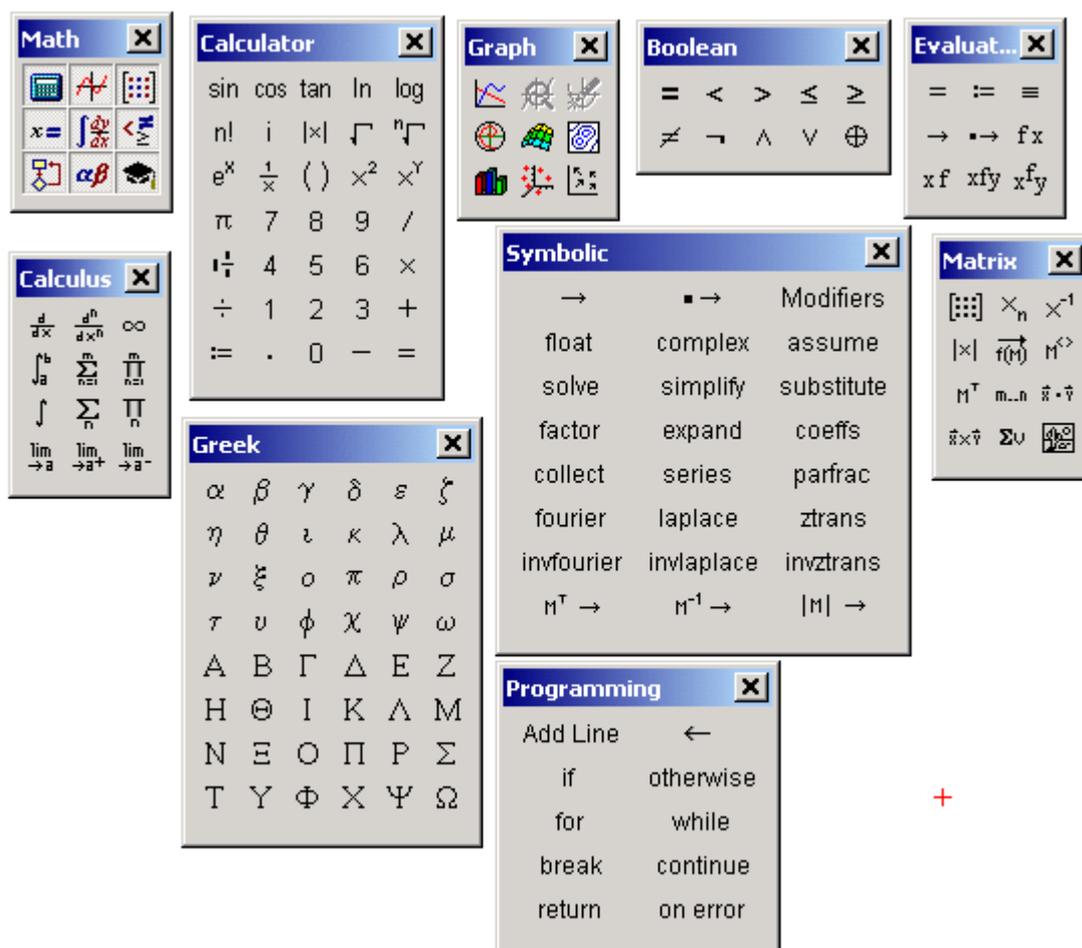


Рисунок 3 – Палитры панели инструментов Math.

**Замечание:** необходимо учитывать, что компилятор среды MathCAD прочитывает содержимое рабочей области два раза – слева направо и сверху вниз. В этой связи вычислительные блоки должны располагаться с учетом их приоритетности. Например, если в вычислении значения выражения принимает участие какая-либо переменная, то ее значение должно быть указано либо левее, либо выше данного выражения. Например, на рисунке 4 в вычислении переменной  $y$  принимает участие переменная  $x$  и параметр  $a$ , поэтому они должны быть описаны выше и (или) левее.

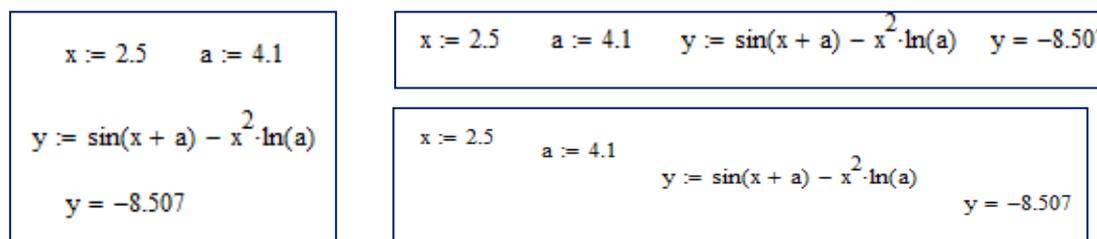


Рисунок 4 – Примеры расположения вычислительных блоков

## 1.2 Структура MathCAD-документа

Документ MathCAD состоит из трех частей, т.е. разделен на блоки вертикальными линиями (рисунок 1). В документе MathCAD могут размещаться области трех типов (рисунок 5):

- 1) текстовая; } - неисполняемая область
- 2) вычислительная; } - исполняемые области
- 3) графическая. }

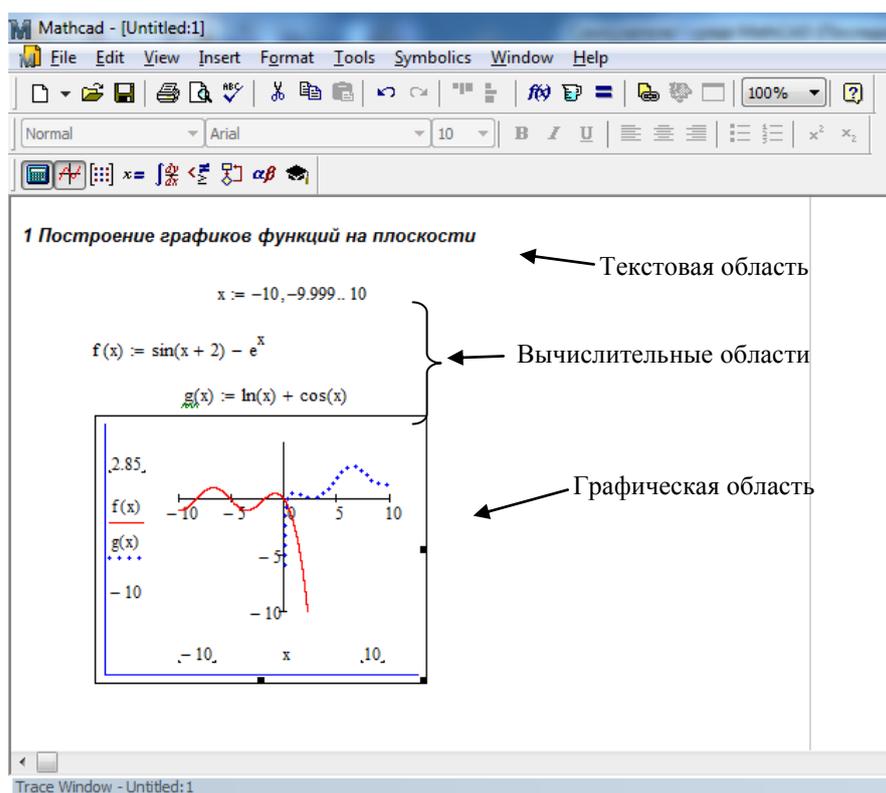


Рисунок 5 – Примеры размещения областей различных типов в документе MathCAD

Область любого типа размещается в любом месте документа с учетом приоритетности вычисления. Область, которая создается или редактируется в текущий момент, называется *текущей* или *активной* и заключается в прямоугольную рамку. На рисунке 5 активной является графическая область. Завершение ввода или редактирования любой области осуществляется клавишей Enter или щелчком мыши вне прямоугольной рамки области.

*Вычислительные* области состоят из исполняемых математических выражений, например, формул, уравнений, равенств, неравенств и т.д. *Графические* области содержат графики и также являются исполняемыми. При формировании вычислительных и графических областей курсор имеет форму синего уголка, который называется *следом курсора формул*. Перемещение курсора внутри области осуществляется с помощью клавиш управления курсором или указате-

ля мыши, изменение размера курсора выполняется с помощью клавиши «пробел».

Для создания вычислительной или графической области необходимо:

1) переместить крестообразный курсор в позицию, определяющую начальное положение формулы в документе;

2) ввести требуемую формулу или разместить график с помощью палитры **Graph**;

3) щелкнуть кнопкой мыши вне области или нажать клавишу «Enter».

Более подробно правила формирования формул и графиков будут рассмотрены в последующих пунктах настоящего пособия.

Текстовые области служат для размещения заголовков, комментариев и пояснений различного характера в MathCAD-документе и являются неисполняемыми. Чтобы создать текстовую область, следует:

1) переместить крестообразный курсор в позицию, определяющую начальное положение текста в документе;

2) выполнить команду Insert→Text Region (Вставка→Текстовая область) или нажать клавишу с символом «двойная кавычка», после чего на рабочем поле появляется прямоугольная область с курсором в виде красной вертикальной черты;

3) ввести текст, например *Моя текстовая область*, используя при необходимости параметры панели инструментов **Formatting** или команду Format→Text (Формат→Текст); переход на новую строку внутри текстовой области осуществляется либо автоматически при достижении границы блока документа, либо принудительно нажатием клавиши Enter (рисунок 6);

4) щелкнуть кнопкой мыши вне создаваемой области или нажать клавишу «Enter».

**Замечание:** если Вы начали вводить текст без предварительной вставки текстовой области, то необходимо нажать клавишу «пробел» для инициализации текстового блока, после чего синий уголковый курсор сменится красной вертикальной чертой. В противном случае текст будет записан в область формулы и при компиляции приведет к ошибке.

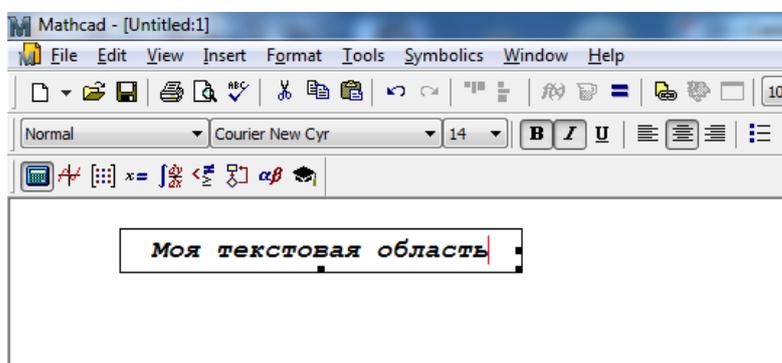


Рисунок 6 – Пример создания текстовой области

Создаваемые области в документе MathCAD можно перемещать, для чего курсор мыши следует навести на область ближе к ее границам, после чего изображение курсора станет в виде ладошки черного цвета, захватить мышкой и перетащить в нужное место.

### 1.3 Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные элементы интерфейса среда MathCAD. Что является специфичным для данной среды?
2. Назовите и дайте характеристику интегрированным компонентам, составляющих среду MathCAD.
3. Охарактеризуйте назначение встроенных панелей инструментов.
4. Что собой представляет панель инструментов Math?
5. Каковы особенности компиляции рабочей области среды MathCAD?
6. Что такое приоритет расположения вычислительных областей? Приведите примеры.
7. Что собой представляет структура MathCAD-документа?
8. Какие типы областей можно разместить в рабочем поле MathCAD?
9. Какая область является неисполняемой?
10. Что такое текущая область MathCAD?
11. Что представляет собой курсор? Назовите отличительные особенности курсора при формировании разных типов областей.
12. Расскажите обобщенный алгоритм создания исполняемой области.
13. Расскажите алгоритм формирования текстовой области.

### 1.4 Упражнения для самостоятельной работы

1. Включите и разместите в правой части рабочего листа панели инструментов Calculator и Greek (остальные палитры панели Math, если они уже выведены на экран, отключите). Разместите данные панели в области, где размещены основные панели инструментов, например, как это показано на рисунке 5 (панель Math размещена в одной области с панелями Стандартная и Форматирование).
2. Введите заголовок Вашего документа в «первой строке» рабочего листа, например следующего содержания:  
Мой первый документ.  
Подготовил: Иванов А., группа 13 РКК(б)РС
3. Измените размер шрифта в первой строке текстового блока из упражнения 2 и установите для нее вид начертания – «подчеркивание». Для фамилии установите вид начертания – «курсив»:
4. Установите ширину блока из упражнения 2 немного меньше ширины страницы документа и выполните центрирование текста в пределах области.
5. На рисунке изображены вычислительные области, сколько значений примет функция  $g$ :

$a := 2.5$        $x := -1, -1 + 0.5..1$

$b := 3.1$        $t_{12} := x$

$x := 0.4 \cdot b$

$r(x) := 2 \cdot a \cdot x^2 - 5.7 \cdot x + 4.02$        $r(x) =$

## 2 Основные понятия среды MathCAD

### 2.1 Алфавит и объекты входного языка MathCAD

Документы MathCAD фактически представляют собой программу, написанную на визуально-ориентированном языке программирования. Визуально-ориентированные языки программирования позволяют формировать программу в виде визуально понятных объектов. Язык программирования MathCAD ориентирован на математические вычисления и потому практически не отличается от обычного языка математических статей, отчетов и книг.

Входной язык MathCAD является интерпретируемым, т.е. когда система опознает какой-либо объект, она немедленно исполняет указанные в области (блоке) операции.

Следует отличать визуально-ориентированный язык общения системы MathCAD от понятия «язык реализации системы», т.е. обычного языка программирования высокого уровня, на котором написана система. Языком реализации системы MathCAD является один из самых мощных языков высокого уровня на сегодняшний день – язык программирования C++.

По существу входной язык системы – промежуточное звено между скрытым от пользователя языком документа и языком реализации системы. По мере того как пользователь создает (средствами текстового, формульного, символьного или графического редакторов) в рабочем блоке документа объекты (тексты, формулы, таблицы и графики), система сама составляет программу на некотором промежуточном языке связи. Эта программа хранится в оперативной памяти до тех пор, пока не будет записана на носитель в виде файла с расширением .mcd. Однако от пользователя не требуется знание языков программирования (реализации и связи), достаточно освоить приближенный к естественному математическому языку входной язык системы.

Как правило, *алфавитом* языка программирования называют набор символов (разрешенный к использованию и воспринимаемый компилятором), с помощью которого могут быть образованы величины, выражения и операторы данного языка.

Алфавит входного языка MathCAD включает в себя:

- строчные и прописные латинские буквы: A, a, B, b, C, c...;
- арабские цифры от 0 до 9;

- строчные и прописные греческие буквы:  $A, \alpha, B, \beta, \Gamma, \gamma, \Delta, \delta \dots$ ;
- символ подчеркивания  $\_$ ;
- символ бесконечности  $\infty$ ;
- символ штрих ' (набирается с помощью комбинации клавиш ctrl+F7);
- символ процента %;
- нижний индекс, формируется с помощью клавиши «.» (точка в режиме латинских букв), используется в качестве индекса в определении идентификаторов переменных и функций, например  $B_2$ ; **NB**: не является тождественным числовому индексу векторной переменной.

К основным объектам входного языка системы MathCAD относятся:

- константы;
- переменные;
- операторы;
- функции.

Данные объекты входного языка участвуют в образовании вычислительных областей документа MathCAD, о правилах формирования которых будет изложено в последующих пунктах.

Из символов алфавита формируются *идентификаторы* (имена) переменных и функций. Синтаксис при определении имен переменных и функций имеет следующие ограничения:

- все буквы идентификатора должны иметь одинаковый стиль и шрифт;
- имя должно начинаться с буквы или символа бесконечности;
- символ бесконечности может быть только первым в имени;
- в идентификатор не могут входить пробельные символы (пробелы, знаки табуляции и прочее);
- имена не могут совпадать с именами встроенных функций, констант и размерностей, поскольку это приведет к их переопределению; синтаксически допускается их переопределение, но тогда одноименная встроенная функция не будет использоваться по первоначальному назначению (рисунок 7);
- строчные и прописные буквы считаются различными символами, поскольку в системе MathCAD имеет место понятие «чувствительность к регистру»;
- имена переменных и функций не различаются в документе, т.е. если сначала определить функцию  $f(x)$ , а потом переменную  $f$ , то в оставшейся части документа будет утерян доступ к функции  $f(x)$ , поскольку произойдет ее переопределение.

**Замечание:** идентификатор может быть составлен из любых символов и восприниматься корректно в случае, если последние заключить в квадратные скобки, например,  $[a + b] := 45$ ; размещение квадратных скобок с местозаполнителем внутри [■] осуществляется нажатием комбинации клавиш Ctrl+Shift+J. На рисунке 8 показаны примеры формирования идентификаторов.

Переменная – именованный объект данных. Через имя можно обращаться к соответствующему объекту из любого участка документа, расположенного ниже или правее выражения задания переменной.

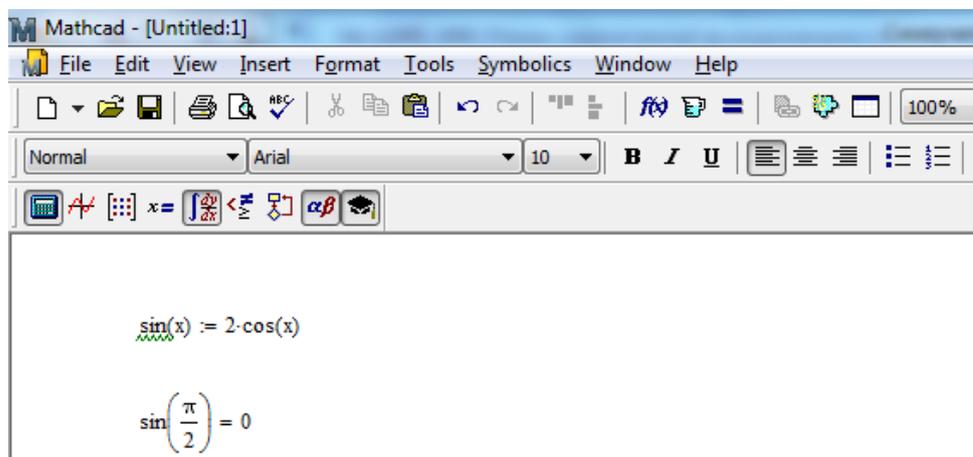


Рисунок 7 – Пример переопределения встроенной функции

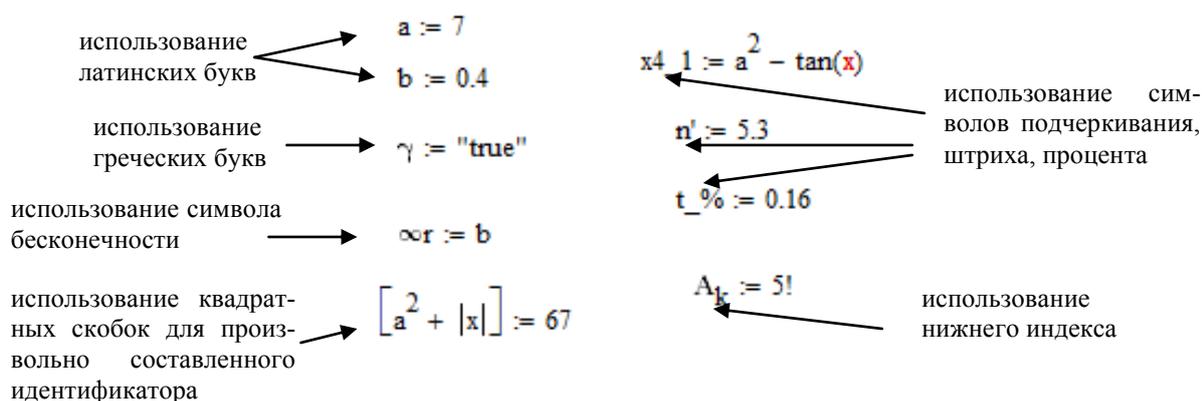


Рисунок 8 – Примеры формирования идентификаторов

### 2.1.1 Переменные. Определение переменных

Переменные, определяемые в документе MathCAD, могут быть:

- 1) системные;
- 2) пользовательские (далее просто переменные).

*Системная переменная* – это переменная, созданная разработчиками среды MathCAD, имеющая predeterminedенное системой начальное значение. Перечень системных переменных, встроенных в систему MathCAD, и их назначение указаны в таблице 2.

**Замечание:** начальное значение (значение по умолчанию) системной переменной может быть изменено пользователем принудительно:

*1 способ:*

с помощью команды Tools (Инструменты)→Worksheet Options (Опции рабочего листа) на вкладке Built-In Variables (Встроенные переменные);

Таблица 2 – Системные переменные среды MathCAD

Обозначение	Значение по умолчанию	Назначение
$\pi$	3.14159	Число $\pi$ (для вставки нажмите Ctrl+P)
e	2.71828	Основание натурального логарифма
$\infty$	$10^{307}$	Бесконечность (для вставки нажмите Ctrl+Z)
%	0.01	Процент (используется в выражениях, подобных 10·% или как масштабируемый множитель)
i	-	Мнимая единица
j	-	Мнимая единица
TOL	$10^{-3}$	Допустимая погрешность при различных алгоритмах аппроксимации (интегрирования, решения уравнений)
CTOL	$10^{-3}$	погрешность для условий ограничения при решении оптимизационных задач с применением функций <i>Find</i> , <i>Minerr</i> , <i>Maximize</i> , <i>Minimize</i>
ORIGIN	0	Определяет индекс первого элемента векторов и матриц
FRAME	0	Используется в качестве счетчика при создании анимаций
PRNPRECISION	4	число значащих цифр при записи файлов функцией WRITEPRN
PRNCOLWIDTH	8	ширина столбца, используемая при записи файлов функцией WRITEPRN
CWD	-	Текущий рабочий каталог в форме строки

2 способ:

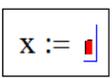
с помощью оператора присваивания, например, в рабочем листе можно указать ORIGIN:=1, после чего индексирование переменных будет начинаться с 1.

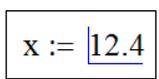
*Пользовательская переменная* определяется самим пользователем в целях решения конкретной задачи путем назначения ей идентификатора в соответствии с синтаксисом определения имен и указания значения этой переменной. Определение значения переменной осуществляется с помощью оператора присваивания. Присваивание может быть:

- локальным (обозначается :=);
- глобальным (обозначается ≡).

Для размещения оператора локального присваивания (:=) необходимо:

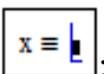
- 1) указать имя переменной в соответствии с правилами синтаксиса;
- 2) нажать клавишу "двоеточие" в режиме латинских букв или активировать кнопку на панели инструментов Calculator (Калькулятор) или Evaluation (Вычисления) с изображением данного оператора, после чего на листе появится

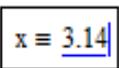
конструкция следующего вида ;

- 3) в местозаполнитель (свободный маркер) справа от оператора присваивания ввести значение переменной .

Для размещения оператора глобального присваивания (≡) необходимо:

- 4) указать имя переменной в соответствии с правилами синтаксиса;
- 5) нажать клавишу "тильда" (~) в режиме латинских букв или активировать кнопку на панели инструментов Evaluation (Вычисления) с изображением данного оператора, после чего на листе появится конструкция следующего вида

.

- б) в местозаполнитель (свободный маркер) справа от оператора присваивания ввести значение переменной .

**Замечание:** различие между локальными и глобальными переменными заключается в процессе их вычисления в документе. Как уже говорилось выше, среда MathCAD читает документ слева направо и сверху вниз несколько раз. Во время «первого чтения» вычисляются значения глобальных переменных, в последующем чтении, когда происходит вычисление выражения, все переменные анализируются и интерпретируются. Таким образом, глобальные переменные могут использоваться в любом месте документа, в том числе слева от их определения или над ним. Локальные переменные должны размещаться согласно логической последовательности вычислительных областей, которые от них зависят (слева на одной высоте или выше вычисляемой области, в котором используется данная переменная, рисунок 4).

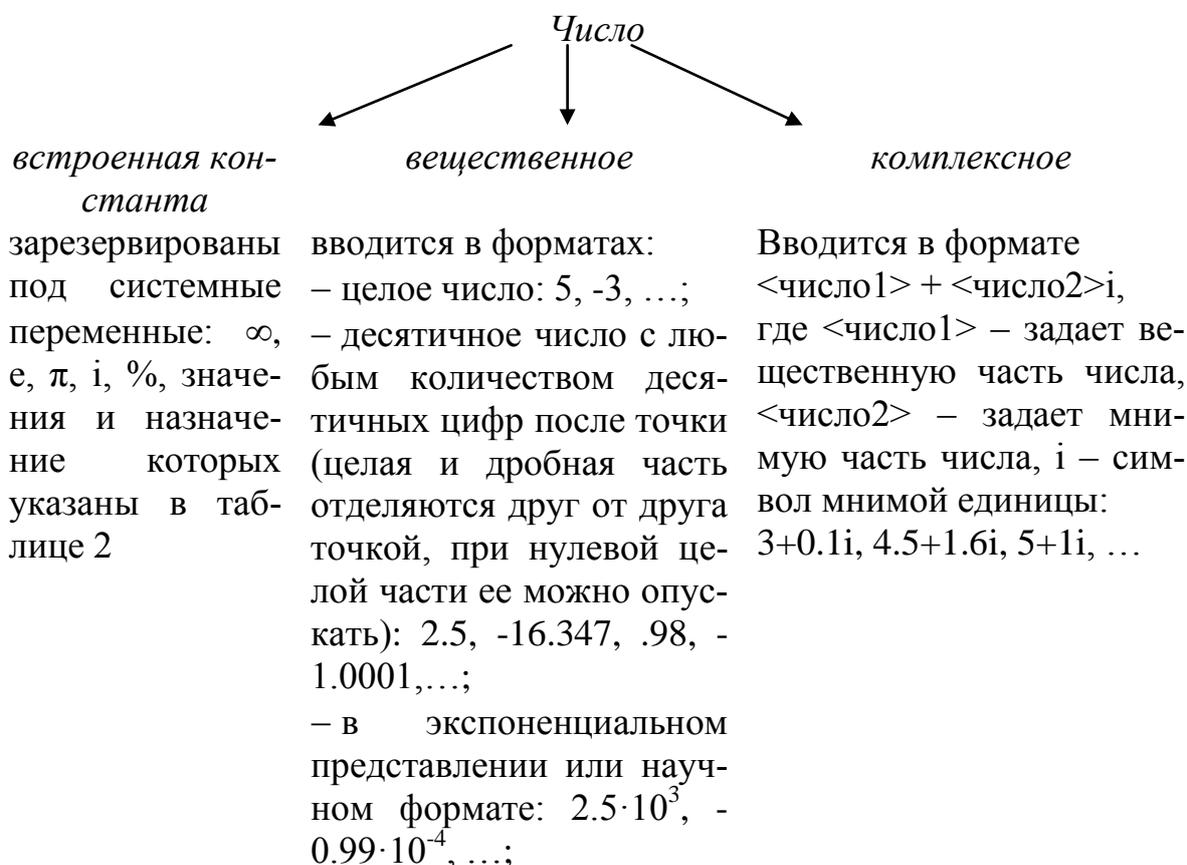
Переменная в системе MathCAD может принимать значения следующих типов:

- 1) число;
- 2) массив;
- 3) текст (строка).

Среда MathCAD оперирует с вещественными, комплексными числами, а также встроенными константами. Любое выражение, начинающееся с цифры, интерпретируется как число.

### Замечания:

- 1) комплексное число следует вводить без знака операции умножения между <число2> и символом  $i$ ;
- 2) <число 2> =1 также следует указывать;



3) если мнимую единицу вводить в виде  $1i$ , то можно использовать операцию умножения, т.е.  $a + b \cdot 1i$ .

4) для обозначения мнимой единицы может быть использован символ  $j$  вместо  $i$ . Изменить обозначение мнимой единицы можно с помощью команды **Format**→**Result** (Формат→Результат) на вкладке **Display Options** (Стиль отображения) в раскрывающемся списке **Imaginary value** (рисунок 9).

*Пример 1.* Присвоить переменным числовые значения, указанные в таблице ниже, и сохранить документ под именем **Переменные.mcd**. Результат присвоения сравнить с изображением на рисунке 10.

Переменная	локальная				глобальная		
	идентификатор	X	Aw_1	$\infty a$	pr%	$\xi$	$V_q$
значение		2,5	-16	0,12+3i	1,0001	17,08	11,56

Система **MathCAD** имеет возможность оперировать не только скалярными величинами, но и *массивами*.

*Массив* - упорядоченная последовательность однотипных элементов (чисел, строк, символов...). Все элементы массива имеют одинаковое имя и отличаются друг от друга индексами (номера в последовательности).

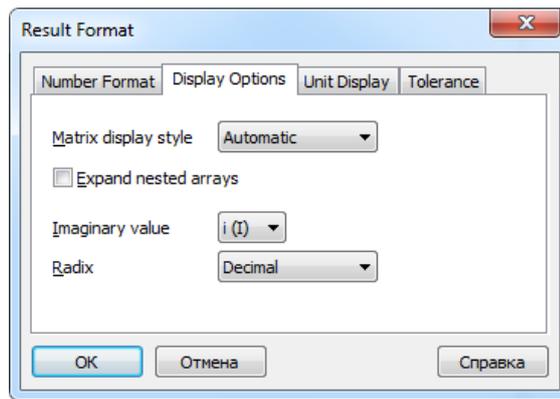


Рисунок 9 – Диалоговое окно форматирования отображения результатов

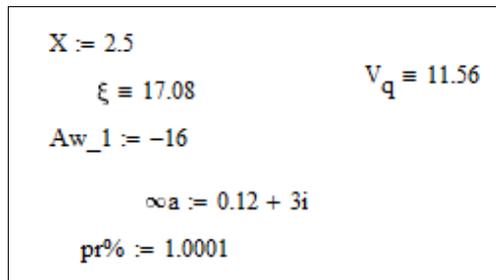


Рисунок 10 – Определение пользовательских переменных на рабочем листе MathCAD

MathCAD поддерживает массивы следующих типов:

- ранжированные переменные;
- индексированные переменные;
- одномерные массивы (векторы);
- двумерные массивы (матрицы);
- многомерные массивы (тензоры).

*Ранжированная переменная* представляет собой дискретный аргумент (вектор), содержащий набор фиксированных значений, изменяющихся от начального до конечного значения с определенным шагом. Однако, в отличие от массивов и индексированной переменной, невозможно получить доступ к отдельному элементу этой переменной.

С помощью ранжированных переменных можно, например, задать значения всех элементов матрицы, решить задачу о табулировании функции или построить график функции по точкам (рисунок 11), а также организовать цикл или итерационные вычисления.

Ранжированная переменная может быть представлена в двух форматах:

*1 формат:*

$x := x_0 .. x_n$

ORIGIN := 1  
 i := 1..4     j := 1..3

x := 0..15  
 f(x) := cos( $\frac{\pi \cdot x}{7}$ )

$A_{i,j} := i^2 - 2 \cdot j$   
 $A = \begin{pmatrix} -1 & -3 & -5 \\ 2 & 0 & -2 \\ 7 & 5 & 3 \\ 14 & 12 & 10 \end{pmatrix}$

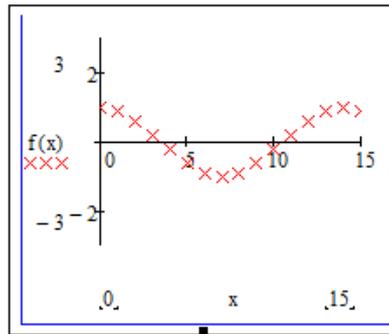


Рисунок 11 – Примеры использования ранжированной переменной

## 2 формат:

$x := x_0, (x_0 + h) .. x_n$

где  $x$  – имя ранжированной переменной,  $x_0$  – начальное значение,  $x_n$  – конечное значение,  $..$  – символ, указывающий на изменение переменной в заданных пределах. Если  $x_0 < x_n$ , то шаг изменения переменной по умолчанию будет равен +1, иначе –1. Для второго формата  $h$  – заданный шаг изменения переменной ( $h > 0$ , если  $x_0 < x_n$ , или  $h < 0$  при  $x_0 > x_n$ ).

Для вставки ранжированной переменной необходимо:

1) указать на рабочем листе ее имя и вставить оператор локального присваивания, т.е.  $x :=$ ;

2) в появившейся местозаполнитель (маркер) вставить шаблон ранжированной переменной Range Variable  $m..n$  на панели инструментов **Matrix**, после чего появится запись  $x := ..$ ;

3) ввести в первый и второй маркеры начальное и конечное значение ранжированной переменной соответственно, например  $x := 1..10$ ;

4) если для изменения ранжированной переменной необходим шаг  $h=1$  (-1), то создание данной вычислительной области можно завершить; если необходим иной шаг, то следует установить уголкового курсор после начального значения и нажать запятую, после чего появится следующая конструкция

$x := 1, .. 10$ ;

5) ввести в появившейся маркер значение, равное сумме начального значения и шага, согласно синтаксису второго формата, например  $x := 1, 1 + 0.2 .. 10$  или

$x := 1, 1.2 .. 10$ , завершить ввод переменной.

**Замечание:** 1) ранжированные переменные значительно расширяют возможности MathCAD, позволяя выполнять многократные вычисления с повторяющимися действиями (циклы); 2) верхняя граница ранжированной переменной необязательно должна быть элементом последовательности, это число просто ограничивает последовательность сверху (или снизу для убывающей последовательности).

Значение переменной определить как вектор или матрица можно несколькими способами:

- 1) с помощью панели инструментов Matrix;
- 2) определение каждого элемента массива с помощью оператора присваивания;
- 3) определение элементов массива через ранжированную переменную.

*1 способ:*

- 1) указать идентификатор переменной (имя вектора или матрицы);
- 2) вставить оператор присваивания, после чего справа от него появится маркер для заполнения (местозаполнитель);

3) щелкнуть по кнопке Matrix or Vector  на панели Matrix, после чего появится диалоговое окно Insert Matrix (рисунок 12);

4) в текстовых полях Rows и Columns указать целое число строк и столбцов соответственно; например, для вставки вектора, содержащего 4 элемента, необходимо ввести значения 4 и 1 соответственно; для вставки матрицы размером  $5 \times 4$  в поля ввести значения 5 и 4;

5) нажать кнопку ОК или Insert, после чего в маркере справа от оператора присваивания появится шаблон (заготовка) для вставки элементов массива (рисунок 13);

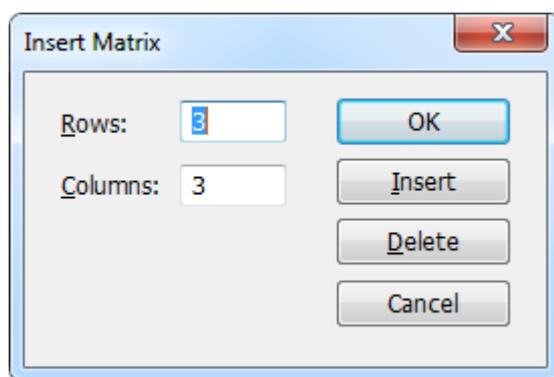


Рисунок 12 – Диалоговое окно формирования массива

б) ввести значения элементов вектора (матрицы) в свободные маркеры; для перемещения между маркерами следует использовать клавиши управления курсором, Tab или указатель мыши;

7) нажать клавишу Enter или щелкнуть указателем мыши вне области вставки массива (рисунок 14).

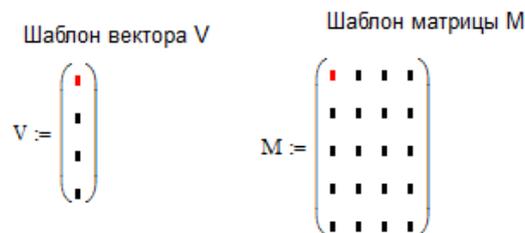


Рисунок 13 – Шаблоны для вставки элементов массивов

$$V := \begin{pmatrix} 0 \\ -2 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \qquad M := \begin{pmatrix} 1.2 & 3.4 & 1 & 0.2 \\ 5.6 & 13 & 2.2 & 1.6 \\ 1.8 & 1.5 & -3 & 1 \\ 8 & -2 & 3.1 & 0.9 \\ 4 & -1 & 1 & 7 \end{pmatrix}$$

Рисунок 14 – Определение переменных V и M типа массив

2 способ: доступ к отдельному элементу массива осуществляется по имени массива и индексу нужного элемента.

Формат обращения к отдельному элементу массива:

**имя массива**<sub>индекс (индексы через запятую)</sub>, например  $A_i, M_{i,j}, S_k, \dots$

Для создания массива следует:

- 1) присвоить системной переменной ORIGIN значение 1;
- 2) ниже указать имя массива, например M;
- 3) щелкнуть по кнопке на панели инструментов Matrix, после чего около имени появится местозаполнитель в виде нижнего индекса  $M_{1,1}$ ;
- 4) ввести номер (номера) индекса (индексов), например  $M_{1,1}$ ;
- 5) клавишей пробел вырастить уголкового курсора так, чтобы он охватил все имя элемента массива, т.е.

он охватил все имя элемента массива, т.е.

- б) вставить оператор присваивания, после чего справа от него появится свободный маркер или местозаполнитель ;

- 7) ввести значение элемента и нажать клавишу Enter

- 8) присвоить значение следующему элементу аналогично п. 1- 6.

Таким образом, получим следующее определение элементов, изображенное на рисунке 15.

**Замечание:** в данном примере вычисление значений некоторых элементов матрицы зависит от параметров a и b, в связи с этим значения последних указаны выше определения элементов.

$$\begin{array}{l}
 \underline{\text{ORIGIN}} := 1 \\
 a := 6 \quad b := -1 \\
 M_{1,1} := 3.6 \quad M_{2,3} := \frac{\sin(a)}{4} \\
 M_{1,2} := -12 \quad M_{3,1} := 1.5 \\
 M_{1,3} := a + b \quad M_{3,2} := 11 \\
 M_{2,1} := \sqrt{a} \quad M_{3,3} := b^2 - 2.1 \cdot a \\
 M_{2,2} := 0
 \end{array}$$

Рисунок 15 – Заполнение двумерного массива через определение каждого элемента

Чтобы отобразить на листе созданную матрицу следует ниже определения элементов указать имя матрицы  $M$  и нажать знак равенства (оператор равенства), вид матрицы представлен на рисунке 16.

$$M = \begin{pmatrix} 3.6 & -12 & 5 \\ 2.449 & 0 & -0.07 \\ 1.5 & 11 & -11.6 \end{pmatrix}$$

Рисунок 16 – Результат создания матрицы путем определения каждого ее элемента

*3 способ:* определение массива через ранжированную переменную осуществляется согласно формату последней, описанному выше. Пример формирования массива  $A$  с помощью ранжированных переменных  $i$  и  $j$  представлен на рисунке 11.

Над массивами в среде MathCAD могут выполняться бинарные арифметические операции: сложение, вычитание, умножение массивов при условии согласования размерностей операндов, а также умножение массива на скалярное выражение. Перечень унарных операций представлен в приложении А.

Для создания и обработки числовых последовательностей используется индексированная переменная, обозначение которой содержит ее имя с указанием индекса (или индексов). Индекс в обозначении является самостоятельной переменной или выражением.

Формат индексированной переменной:

*имя\_перемен*<sub>индекс(индексы)</sub> := *выражение/список значений/итерационная формула*

Для вставки имени индексированной переменной можно использовать два способа:

*1 способ:*

- 1) установить курсор позиционирования в нужное место;
- 2) ввести имя индексированной переменной;

3) щелкнуть по кнопке  на панели инструментов Matrix, после чего около имени появится местозаполнитель в виде нижнего индекса;

4) ввести имя индекса.

2 способ:

1) установить курсор позиционирования в нужное место;

2) ввести имя индексированной переменной;

3) нажать клавишу «[» квадратной скобки, после чего около имени появится местозаполнитель в виде нижнего индекса;

4) ввести имя индекса.

Для определения на рабочем листе индексированной переменной необходимо указать ее полное имя и присвоить ей значение выражения или список значений.

Для формирования индексированной переменной в виде списка значений необходимо выполнить действия:

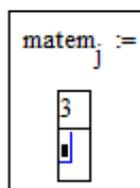
1) указать полное имя индексированной переменной, например *matem<sub>i</sub>*;

2) вставить оператор присваивания;

3) ввести элементы списка, разделяя их запятыми без пробелов (если Вы вставили лишнюю запятую, то она удаляется обычным образом); при нажатии уже первой запятой для отделения первого элемента от второго появляется таблица, называемая *таблицей ввода*:

*N<sub>i</sub>* := 10

*j* := 1..N



4) нажать клавишу *Enter*.

**Замечание:** при формировании индексированной переменной с двумя индексами необходимо учитывать, что вначале меняется второй индекс.

Для редактирования (добавления элементов) индексированной переменной необходимо:

1) выделить уголковым курсором (углом, направленным влево) тот элемент, выше (до) которого следует добавить недостающий элемент или углом, направленным вправо, тот элемент, ниже (после) которого следует добавить элемент списка, после чего появится табличное знакоместо;

2) ввести элемент;

3) нажать *Enter*.

Удаление элементов таблицы осуществляется точно так же, как и любой фрагмент формулы.

Правила формирования выражений будут рассмотрены в п. 2.1.3 настоящих методических рекомендаций.

Значения индексированной переменной можно определить с помощью итерационной формулы, при условии, что одно или несколько ее значений известны (рисунок 17).

$$i := 1..7 \quad k := 0.4 \quad t_0 := 12 \quad t_i := t_{i-1} \cdot (1 + k)$$

$t_i =$
16.8
23.52
32.928
46.099
64.539
90.354
126.496

Рисунок 17 – Пример задания индексированной переменной с помощью итерационной формулы

### 2.1.2 Функции. Определение функций

В среде MathCAD все функции можно разделить на два типа:

- встроенные;
- пользовательские (определенные пользователем).

Применение функций обоих типов совершенно одинаково, с той разницей, что встроенную функцию можно сразу использовать в любом месте документа, а пользовательскую функцию необходимо предварительно определить в документе до момента вычисления ее значения.

Формат любой функции в MathCAD выглядит точно также как в любой другой программе (среде программирования):

**имя функции(аргумент1, аргумент2, ... аргумент n).**

Например,  $\sin(x)$ ,  $\tan(x)$ ,  $\text{augment}(a,b)$ ,  $\text{root}(x,f(x),a,b)$  и т.д.

**Замечание:** при записи имен функций и аргументов в них необходимо учитывать чувствительность среды MathCAD к регистру (синтаксис определения идентификаторов, п. 1.2).

Для того, чтобы вставить в документ встроенную функцию необходимо:

- 1) установить курсор позиционирования в место вставки функции;
- 2) выполнить команду Insert → Function или щелкнуть по кнопке  на панели инструментов **Standard** (Стандартная), после чего появится диалоговое окно Insert Function (Вставка функции), изображенное на рисунке 18;

3) в левом поле Function Category выбрать нужную категорию, например, Graphing (Графические), String (Строка), Vector and Matrix (Вектор и Матрица), All (Все) и т.д.;

4) в правом поле Function Name в появившемся списке содержимого выбранной категории выбрать требуемую функцию, например **acos**, после чего в поле ниже появится формат данной функции **acos(z)** и ее назначение: Returns the angle (in radians) whose cosine is z. Principal value for complex z (Возвращает градусную или радианную меру угла косинуса z);

5) нажать кнопку Ok или клавишу Enter, после чего на рабочем листе появится шаблон функции ;

6) в местозаполнитель ввести аргумент; в качестве аргумента могут выступать: константа, переменная или математическое выражение, при этом каждое из последних предварительно должно быть определено или вычислено (рисунок 19);

7) переместить уголковый курсор в позицию после закрывающей скобки и нажать оператор равенства.

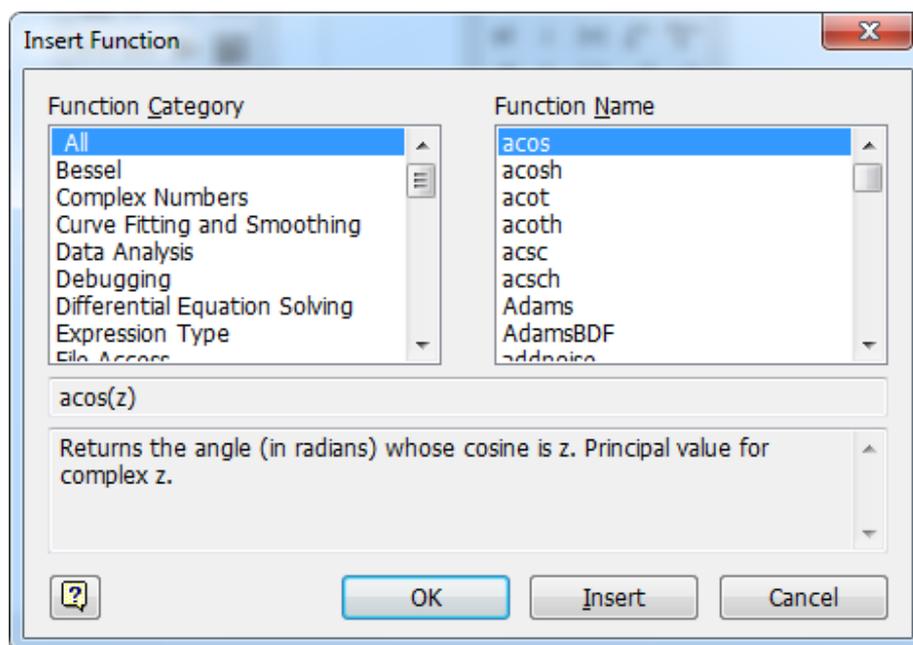


Рисунок 18 – Диалоговое окно вставки функции

В таблице 3 представлены основные встроенные функции MathCAD. Перечень других встроенных функций будет рассмотрен далее по тексту, а также представлен в приложении Б настоящих методических рекомендаций.

**Замечание:** При вводе имен встроенных функции (таблица 3) следует использовать только строчные буквы. Использование заглавных букв в имени будет означать обращение к неопределенной функции (за исключением случая, когда функция с таким именем самостоятельно определена пользователем).

x := 0.5

$\text{acos}(x) = 1.047$

a := 0.5      x := 2      y := 9

$\sin(1) = 0.841$      $\sin(a) = 0.479$      $\sin(\sqrt{x} \cdot e^y) = -0.862$

Рисунок 19 – Примеры определения встроенных функций

Таблица 3 – Основные встроенные функции MathCAD

Название	Запись функции на математическом языке	Запись функции на языке MathCAD
тригонометрические функции <sup>1</sup>	$\sin(x)$ , $\cos(x)$ , $\text{tg}(x)$ , $\text{ctg}(x)$ , $\text{sec}(x)$ , $\text{cosec}(x)$	$\sin(x)$ , $\cos(x)$ , $\tan(x)$ , $\cot(x)$ , $\sec(x)$ , $\csc(x)$
обратные тригонометрические функции	$\text{Arcsin}(x)$ , $\arccos(x)$ , $\text{arctg}(x)$ , $\text{arcctg}(x)$ , $\text{arcsec}(x)$ , $\text{arcsec}(x)$	$\text{asin}(x)$ , $\text{acos}(x)$ , $\text{atan}(x)$ , $\text{acot}(x)$ , $\text{asec}(x)$ , $\text{acsc}(x)$
экспонента	$e^x$	$\text{exp}(x)$
натуральный логарифм	$\ln(x)$	$\ln(x)$
десятичный логарифм	$\lg(x)$	$\log(x)$
некоторые кусочно-непрерывные функции (piecewise continuous)	-	$\text{if}(\text{условие}, \text{выражение1}, \text{выражение2})^2$ ; $\text{sign}(x)^3$ .

Для создания пользовательской функции необходимо:

- 1) установить курсор позиционирования в место вставки функции;
- 2) указать имя функции, согласно синтаксису определения идентификаторов;
- 3) вставить круглые скобки, внутри которых появится местозаполнитель (свободный маркер) для вставки аргументов  $\text{func}(\ )$ ;
- 4) ввести имя (имена) аргумента (аргументов через запятую), согласно синтаксису определения идентификаторов, например,  $\text{func}(x, y)$ ;
- 5) переместить уголкового курсора в место после закрывающей круглой скобки и вставить оператор присваивания  $\text{func}(x, y) := \ )$ , после чего справа от него появится местозаполнитель;
- 6) ввести в местозаполнитель выражение, зависящее от заданных аргументов и щелкнуть вне поля редактирования вычислительной области.

<sup>1</sup> Аргументы тригонометрических функций задаются в радианах. Для перевода градусов в радианы используется встроенная константа *deg*, например:  $\sin(30 \cdot \text{deg}) = 0.5$

<sup>2</sup> Возвращает значение выражения 1, если значение условия - истина, значение выражения 2, если значение условия - ложь.

<sup>3</sup> Возвращает значение 0, если  $x=0$ ; возвращает значение 1, если  $x>0$  и значение -1 в противном случае.

**Замечание:** все переменные, присутствующие справа в выражении определения функции должны либо входить в список аргументов функции, либо должны быть определены ранее. В противном случае будет выведено сообщение об ошибке, а идентификатор неопределенной переменной будет выделен красным цветом.

### 2.1.3 Выражения. Правила формирования выражений

Выражения – это запись, определяющая последовательность действий над величинами.

Выражения состоят из операндов и операторов. В качестве операндов могут выступать константы, переменные (пользовательские или системные), функции (пользовательские или встроенные). В качестве операторов могут выступать круглые скобки и математические операторы, определенные в среде MathCAD и рассмотренные ниже.

Напомним, что оператор, выполняемый над одним операндом, называют **унарным** (например, вычисление корня квадратного, модуля, факториала). Если же оператор служит для обработки двух операндов, то его называют **бинарным** (например, сложение, вычитание, умножение, деление).

В среде MathCAD операторы сгруппированы по смыслу на соответствующих панелях инструментов:

- арифметические операторы, обозначающие арифметические действия над операндами, вставляются с панели Calculator;
- логические операторы, обозначающие логические действия над операндами, вставляются с панели Boolean;
- вычислительные операторы (дифференцирование, интегрирование, суммирование, вычисление произведения, пределы), вставляются с панели Calculus (Вычисления) (приложение В);
- матричные операторы, предназначенные для совершения различных действий над векторами и матрицами, вводятся с панели Matrix (приложение В);
- операторы выражения находятся на панели Evaluation (Выражения) (оператор численного вывода или оператор результата  $\equiv$ , оператор локального присваивания  $\equiv$ , оператор глобального присваивания  $\equiv$ , оператор символьного вывода  $\rightarrow$ );
- операторы пользователя (префиксный оператор  $f^x$ , постфиксный оператор  $x^f$ , инфиксный оператор  $x^f y$ , древовидный оператор  $x^f y$ ); представлены также на панели Evaluation.

Один из основных операторов выражения MathCAD – оператор присваивания был рассмотрен ранее в п. 1.2.1.

Рассмотрим оператор результата (численного вывода). Оператор результата позволяет узнать, какое значение принимает заданное выражение. Для этого в редактируемом вычислительном блоке необходимо нажать клавишу =

(равно) с клавиатуры или оператор Evaluate Numerically (=) на панели Calculator или на панели Evaluation.

Если установлен автоматический режим вычислений (индикатор AUTO в строке состояния на рисунке 1), то результат вычислений будет отображен моментально. Если же установлен ручной режим вычислений, то следует нажать клавишу F9 для пересчета выражения (индикатор Calc F9 в строке состояния).

Изменить режим вычислений можно с помощью команды горизонтального меню Tools→ Calculate путем включения или отключения флажка Automatic Calculation (автоматический режим).

**Замечание:** если Вы ввели оператор равенства, не указав выражения, значение которого следует вычислить, то на экране появится сообщение об ошибке «This placeholder is empty» (этот заполнитель пустой) с окрашенным в красный цвет местозаполнителем слева от оператора равенства (рисунок 20).

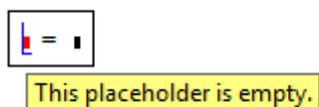


Рисунок 20 - Сообщение об ошибке при использовании оператора результата

Рассмотрим арифметические и логические операторы, перечень которых представлен в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Арифметические операторы

Название	Формат записи	Комбинация клавиш (клавиша)
Сложение (Addition)	$a+b$	+
Вычитание (Subtraction)	$a-b$	-
Умножение (Multiplication)	$a \cdot b$	*
Деление (Division)	$\frac{a}{b}$	/
Возведение в степень (Raise to Power)	$a^b$	^
Факториал (Factorial)	$a!$	!
Извлечение корня квадратного (Square Root)	$\sqrt{a}$	\
Извлечение корня n-й степени (Nth Root)	$\sqrt[n]{a}$	Ctrl+\
Абсолютная величина числа (Absolute Value)	$ a $	
Круглые скобки (Parentheses)	(a)	'

Арифметические операторы можно вставить либо клавишами, указанными в таблице 4, либо с помощью кнопок на панели инструментов Calculator.

Таблица 5 – Логические операторы и операторы сравнения

Название	Формат записи	Комбинация клавиш (клавиша)
Равно (Equal to)	$a = b$	Ctrl+ =
Не равно (Not Equal to)	$a \neq b$	Ctrl+ \
Меньше (Less Than)	$a < b$	<
Больше (Greater Than)	$a > b$	>
Меньше или равно (Less Than or Equal to)	$a \leq b$	Ctrl+ \
Больше или равно (Greater Than or Equal to)	$a \geq b$	Ctrl+ =
Логическое отрицание (Not)	$\neg a$	Ctrl+Shift+1
Логическое И (And)	$a \wedge b$	Ctrl+Shift+7
Логическое ИЛИ (Or)	$a \vee b$	Ctrl+Shift+6
Исключающее ИЛИ (Exclusive or)	$a \oplus b$	Ctrl+%

Приоритет выполнения операторов в отсутствие скобок:

- 1) Not;
- 2) And;
- 3) Or;
- 4) Операторы сравнения;

Логические операторы используются при формировании логических выражений (условий). Условия могут быть:

- простые;
- сложные.

Формат простого условия:

*выражение1* *знак сравнения* *выражение2*

Например,  $x \geq 4$     $d = 0$     $\sin(x) \neq 0$  .

Сложные условия формируются из простых с помощью логических операторов Not, And, Or, Exclusive or. Например:

$$x := 2$$

$$y := 3$$

$$(x > 1) \vee (y < 1) \wedge (x^2 + y^2 \leq 4) = 1$$

$$[(x > 1) \vee (y < 1)] \wedge (x^2 + y^2 \leq 4) = 0$$

Следует отметить, что вместо операторов And, Or могут быть также использованы арифметические операторы сложения и умножения. Например:

$$(x > 1) + (y < 1) \cdot (x^2 + y^2 \leq 4) = 1$$

Логические операторы можно вставить либо клавишами, указанными в таблице 5, либо с помощью кнопок на панели инструментов Boolean.

При формировании выражений рекомендуется придерживаться следующих основных правил:

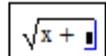
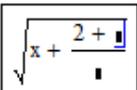
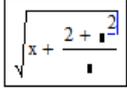
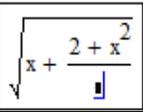
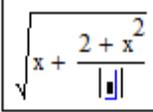
- шаблоны операторов, необходимые для создания выражения, следует выбирать по принципу «от внешнего к внутреннему»;
- для размещения оператора следует первоначально вырастить уголко-  
вый курсор с помощью клавиши *Пробел* так, чтобы он охватывал полностью  
только тот операнд, над которым предполагается выполнить оператор, угол  
курсора при этом должен быть направлен вправо.

*Пример 2.* Рассмотрим пример создания выражения

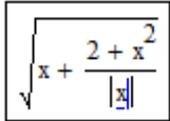
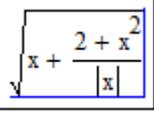
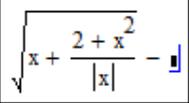
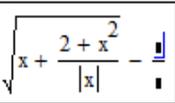
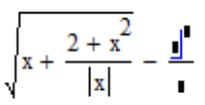
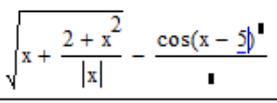
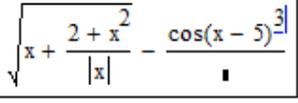
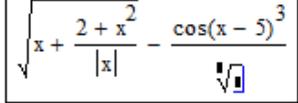
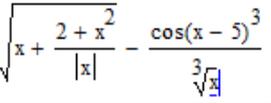
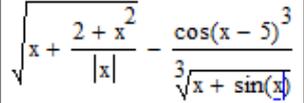
$$\sqrt{x + \frac{2 + x^2}{|x|}} - \frac{\cos^3(x - 5)}{\sqrt[3]{x + \sin(x)}}$$

. Алгоритм создания представим в таблице 6.

Таблица 6 – Алгоритм создания арифметического выражения

Описание действия	Отображение выполненного действия в рабочем листе MathCAD
выбрать оператор извлечения корня квадратного;	
под знаком корня квадратного выполняется операция сложения; сначала в местозаполнитель следует ввести имя первого операнда x;	
вставить оператор сложения, после чего появится местозаполнитель для второго операнда;	
в качестве второго операнда оператора сложения выступает дробь; в местозаполнитель вставить оператор деления, после чего появится шаблон дроби;	
в местозаполнитель числителя дроби ввести 2, затем вставить оператор сложения, после чего появится местозаполнитель для второго операнда;	
в местозаполнитель ввести второй операнд с помощью шаблона возведения в квадрат с панели Calculator, после чего появится шаблон степени;	
в местозаполнитель основания степени ввести x;	
в местозаполнитель знаменателя дроби вставить оператор абсолютной величины;	

Продолжение таблицы 6

Описание действия	Отображение выполненного действия в рабочем листе MathCAD
в местозаполнитель абсолютной величины ввести операнд x;	
клавишей <i>Пробел</i> вырастить уголкоый курсор так, чтобы он охватил весь корень квадратный (4 нажатия);	
вставить оператор вычитания, после чего появится местозаполнитель для второго операнда;	
в местозаполнитель вставить оператор деления, после чего появится шаблон дроби;	
в местозаполнитель числителя дроби вставить оператор возведения в степень;	
в местозаполнитель основания степени вставить шаблон функции cos, в качестве аргумента косинуса ввести выражение x-5;	
в местозаполнитель показателя степени ввести 3;	
в местозаполнитель знаменателя дроби ввести оператор извлечения корня n-й степени;	
в местозаполнитель степени ввести 3, в местозаполнитель подкоренного выражения ввести сначала x;	
вставить оператор сложения, затем вставить шаблон функции sin, в качестве аргумента функции ввести x;	
нажать клавишу Enter или щелкнуть указателем мыши вне создаваемой области.	

Для того чтобы отобразить значение данного выражения необходимо:

- 1) задать выше описания выражения значение переменной  $x$ , например  $x:=0.5$ ;
- 2) щелкнуть указателем мыши в область выражения;
- 3) клавишей *Пробел* вырастить уголкового курсора так, чтобы он охватил все выражение, при этом угол курсора должен быть направлен вправо;
- 4) вставить оператор равенства, после чего на рабочем листе появится результат (рисунок 21).

$x := 0.5$

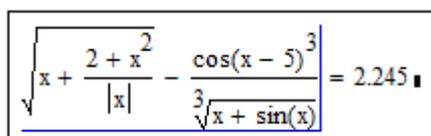


Рисунок 21 – Отображение результата выражения

**Замечание:** в рассмотренном примере 2 количество выводимых знаков после запятой равно 3. Это зависит от установленного формата вывода числового результата. Параметры формата можно изменить с помощью команды *Format→Result* (Формат→Результат) на вкладке *Number Format* (Числовой формат). Диалоговое окно команды отображено на рисунке 22.

Если команда выполняется для текущей области, то будет установлен числовой формат только для нее (локальный формат). При выполнении команды вне любой из областей документа будет установлен формат вывода для всех областей, содержащих числовой результат (глобальный формат), кроме тех, для которых был установлен локальный формат.

В списке *Format* (рисунок 22) можно выбрать один из пяти различных форматов отображения числа, а с помощью полей и флажков справа можно настроить выбранный формат.

Возможные форматы результата:

- *General*, используемый по умолчанию, число представляется в виде десятичной дроби; количество знаков после запятой задается в поле *Number of decimal places*; поле *Exponential threshold* (Экспоненциальный порог) позволяет задать порог *ET* перехода к экспоненциальной форме, число  $x$  отображается в таком формате, если его значение удовлетворяет условию  $10^{ET} < x$  или  $x < 10^{-ET}$ ; для данного формата актуален флажок *Show exponents in engineering format*, который позволяет в экспоненциальной форме записи использовать только порядки, кратные трем (стандартная инженерная форма записи);
- *Decimal*, результат представляется в виде десятичной дроби без экспоненты;
- *Scientific*, результат выводится в экспоненциальной форме;
- *Engineering*, результат выводится в экспоненциальной форме, при этом используются только порядки, кратные трем;
- *Fraction*, результат выводится в виде простой дроби.

Для форматов General, Decimal, Scientific, Engineering актуален флажок Show trailing zeros, который позволяет дробь дополнить нулями до количества знаков, указанных в поле Number of decimal places.

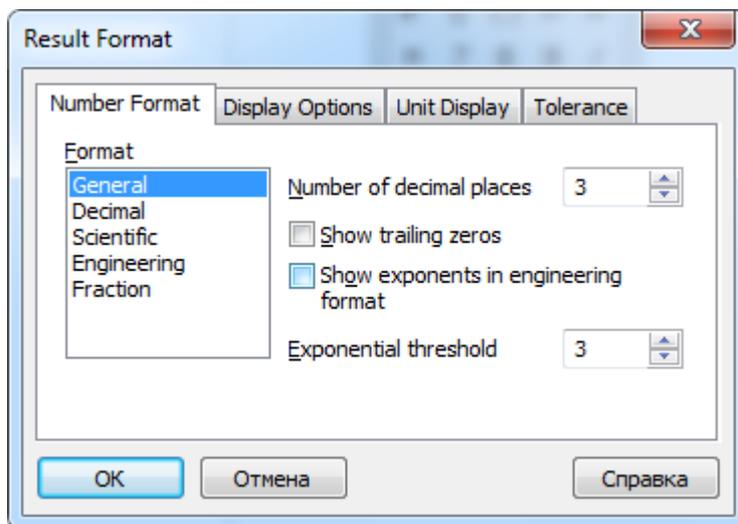


Рисунок 22 – Диалоговое окно Result Format

При создании выражения могут использоваться пользовательские операторы. Они расширяют возможности пользователя и позволяют выходить за рамки встроенных операторов MathCAD. Перечень шаблонов пользовательских операторов представлен на странице 25 настоящего пункта рекомендаций.

Имя оператора пользователя формируется по правилам определения идентификатора, а оператор пользователя создается аналогично пользовательской функции, для этого необходимо:

- в рабочем поле набрать имя оператора и далее в круглых скобках указать имена операндов (не более двух через запятую);
- вставить оператор присваивания;
- справа от символа присваивания ввести выражение, описывающее действие оператора над операндами;
- щелкнуть кнопкой мыши вне создаваемой области или нажать клавишу Enter.

*Пример 3.* Рассмотрим создание бинарного инфиксного оператора `gir`, позволяющего находить длину гипотенузы прямоугольного треугольника при заданных значениях катетов  $x$  и  $y$ .

Алгоритм создания оператора представлен в таблице 6.

Для использования данного оператора необходимо:

- 1) на рабочем поле ниже описания оператора задать значения катетов, например, 4 и 5 соответственно (рисунок 23);
- 2) ниже определить новое место вставки и щелкнуть по кнопке инфиксного оператора `xfy` на панели Evaluation, после чего появятся три маркера (местозаполнителя);

Таблица 6 – Алгоритм создания бинарного оператора пользователя

Описание действия	Синтаксис записи
Указать имя оператора, например gip;	<code>gip </code>
Вставить круглые скобки;	<code>gip( )</code>
Внутри скобок указать имена операндов через запятую, например x – первый катет прямоугольного треугольника, y – второй катет;	<code>gip(x,y )</code>
Переместить уголкоый курсор после закрывающей скобки и вставить оператор присваивания;	<code>gip(x,y) :=  </code>
Справа от оператора присваивания ввести арифметическое выражение, описывающее действие оператора gip над операндами x и y;	<code>gip(x,y) := <math>\sqrt{x^2 + y^2}</math> </code>

3) в левый местозаполнитель ввести имя первого операнда, в правый – имя второго операнда, в средний – имя описанного оператора gip;

4) вырастить уголкоый курсор так, чтобы он охватил оператор gip и оба операнда;

5) вставить оператор равенства, после чего на рабочем поле появится результат вычисления (рисунок 23).

$$gip(x,y) := \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$x := 4 \quad y := 5$$

`x gip y = 6.403 |`

Рисунок 23 – Пример использования пользовательского оператора

**Замечание:** Пользовательские операторы могут быть вложенными. Вложенность операторов используется при создании операторов вычислений, подразумевающих выполнение двух и более бинарных и/или унарных операций над операндами. Например, синтаксис описания инфиксного вложенного оператора:

*оператор1(операнд1,операнд2):=<выражение1>*  
*оператор2(оператор1,операнд3):=<выражение2>*  
*операнд1:=<выражение или константа>*  
*операнд2:=<выражение или константа>*  
*операнд3:=<выражение или константа>.*

Для использования вложенного оператора необходимо:

1) ниже описания определить новое место вставки и щелкнуть по кнопке инфиксного оператора  $xfy$  на панели Evaluation, после чего появятся три маркера (местозаполнителя);

2) в левый местозаполнитель ввести шаблон еще одного инфиксного оператора  $xfy$ , после чего появятся еще два местозаполнителя (всего пять); осуществить ввод слева направо: в первый – имя *операнд1*, во второй – имя *оператор1*, в третий – имя *операнд2*, в четвертый – имя *оператор2*, в пятый – имя *операнд3*;

3) вырастить уголкоый курсор так, чтобы он охватил весь вложенный оператор с операндами;

4) вставить оператор равенства, после чего на рабочем поле появится результат вычисления.

Синтаксис использования вложенного оператора:

*операнд1 оператор1 операнд2 оператор2 операнд3* =.

## 2.2 Вопросы для самоконтроля

1. В чем отличие понятий «язык реализации системы» и «визуально-ориентированный язык»?

2. Что такое алфавит языка программирования?

3. Перечислите символы, составляющие алфавит входного языка MathCAD.

4. Что является основными объектами входного языка системы MathCAD?

5. Охарактеризуйте понятие идентификатор.

6. Какие ограничения имеет синтаксис образования имен в среде MathCAD?

7. Может ли идентификатор быть составлен из любых символов? В каких случаях?

8. Что такое переменная?

9. В чем особенность обращения к переменной в документе MathCAD?

10. Приведите примеры формирования идентификаторов.

11. Что такое системная переменная?

12. Назовите системные переменные MathCAD.

13. Можно ли изменить значение системной переменной? Если да, то каким образом? Приведите примеры.

14. Что такое пользовательская переменная?

15. Чем отличаются локальное и глобальное присваивание?

16. Значения каких типов может принимать пользовательская переменная?

17. Что является признаком числа для системы MathCAD?

18. Назовите форматы вещественных чисел, поддерживаемых средой MathCAD.

19. Каков формат комплексного числа? Назовите особенности формирования комплексного числа.
20. Что такое массив? Какие типы массивов поддерживает система MathCAD?
21. Что представляет собой ранжированная переменная? В чем заключается ее отличие от массива?
22. Для чего используется ранжированная переменная?
23. Назовите и дайте характеристику форматам представления ранжированной переменной.
24. Назовите способы определения векторов и матриц.
25. Расскажите алгоритм создания вектора (матрицы).
26. Что такое индексированная переменная? Чем она отличается от ранжированной переменной?
27. Опишите формат определения индексированной переменной.
28. Значения каких типов может принимать индексированная переменная?
29. Какие типы функций используются в среде MathCAD?
30. Что собой представляет формат записи функции? Приведите примеры встроенных функций.
31. Расскажите обобщенный алгоритм использования встроенной функции.
32. Какие объекты MathCAD принимают участие в образовании выражений?
33. Назовите группы операторов, используемых в системе MathCAD.
34. Какие режимы вычислений используются в среде MathCAD?
35. Назовите унарные и бинарные арифметические операторы. Какие панели инструментов позволяют вставлять данные операторы?
36. Каким образом размещаются логические операторы в документе MathCAD?
37. Назовите основные правила формирования выражений.
38. Каким образом можно управлять форматом вывода числового результата?
39. Какие форматы отображения числа существуют в системе MathCAD?
40. Что такое пользовательский оператор? Расскажите обобщенный алгоритм создания такого оператора. Приведите примеры.
41. Что такое вложенный пользовательский оператор? В каких случаях его удобно использовать?
42. Каким образом формируется вложенный оператор? Приведите пример.
43. Опишите синтаксис использования вложенного оператора.

## 2.3 Упражнения для самостоятельной работы

1. Выберите из списка синтаксически верно записанные идентификаторы: X, y, x0, y\_min, Massa\_1, Massa.1, %A, Value, φ<sub>4</sub>, Δ#\_1, sq\_root, ВуМ\_2, ∞r57, tdf\_∞, Gh\_5'q, Rad cir.

2. На рабочем листе отобразите значения встроенных констант среды MathCAD e, π, ∞, %. Со сколькими значениями после запятой выводятся значения этих констант? Измените формат отображения чисел до 6-7 знаков.

3. Присвоить переменным числовые значения, указанные в таблице ниже, и сохранить документ под именем Переменные1.mcd.

Переменная идентификатор	локальная				глобальная		
	T	max_10	∞chislo	Pr% <sup>2</sup>	Γ_σ	U <sub>p</sub>	T
значение	16,0005	-19,4	1,12+2i	1,0001	1347,08	1156	4

4. Определите диапазон и шаг изменения каждой ранжированной переменной в списке ниже:

$$x := -12.4, (-12.4 + 0.1) .. 2;$$

$$s := 4, 4.025 .. 5;$$

$$t := 7, 6 .. 1;$$

$$l := -0.5, -0.49 .. 1.5;$$

$$l := -0.5, -0.51 .. -1.5;$$

5. Найдите значения встроенных функций sin(x), cos(x), tan(x), cot(x), sec(x), csc(x), acos(x), atan(x), sign(x), log(x), предварительно определив значения переменных, согласно области определения конкретной функции.

6. Попробуйте найти значение выражения  $12 + e^{800}$ . Какой результат получился? После формирования данного выражения и размещения оператора результата на экран будет выведено сообщение:

Found a number with a magnitude greater than  $10^{307}$  while trying to evaluate this expression.

, что означает – «Обнаружено число, превышающее  $10^{307}$  при попытке вычислить указанное выражение. Таким образом, система MathCAD может находить значения выражения, если оно не превосходит максимально допустимого, равного  $10^{307}$ .

7. Какое значение примет переменная ep\_2 и почему, если документ оформлен следующим образом:

$$d := 9$$

$$ep\_2 := d + r \quad \boxed{ep\_2 =}$$

$$r \equiv 3$$

8. Выполнить следующие операции над комплексными числами, оформить комментарии на рабочем листе:

$$Z := -3 + 2i \quad |Z| = \quad Re(Z) = \quad Im(Z) = \quad arg(Z) =$$

$$\sqrt{Z} = \quad \sqrt{-5} = \quad 2 \cdot Z = \quad Z1 := 1 + 2i \quad Z2 := 3 + 4i$$

$$Z1 + Z2 = \quad Z1 - Z2 = \quad Z1 \cdot Z2 = \quad Z1/Z2 =$$

9. Создать пользовательские операторы:

1) для пересчета единиц электрической энергии (кВт·ч в Дж, эВ в Дж) если известно, что:  $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ ;  $1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .

2) Для пересчета единиц магнитной индукции ( $\text{Вб}/\text{см}^2$  в Т, Гс в Т) если известно, что:  $1 \text{ Вб}/\text{см}^2 = 1 \cdot 10^4 \text{ Т}$ ;  $1 \text{ Гс} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ Т}$ .

3) Для пересчета единиц мощности (эрг/с в Вт,  $\text{кгс}\cdot\text{м}/\text{с}$  в Вт) если известно, что:  $1 \text{ эрг}/\text{с} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ Вт}$ ;  $1 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{с} = 9,80665 \text{ Вт}$ .

## 2.4 Задачи для самостоятельной работы

1. В библиотеке функции среды MathCAD в категории All найдите следующие функции: floor(x) ceil(x) angle(x,y) mod(m,n). Изучите назначение и формат данных функций (в случае англоязычной версии среды воспользуйтесь словарем, программой-переводчиком или иным средством перевода). Составьте примеры использования данных функций на рабочем листе MathCAD, самостоятельно задав значения переменных.

2. Вычислить значение выражения при самостоятельном определении переменных, согласно области допустимых значений. Результат вычислений представьте в экспоненциальной форме.

№	Выражение
1	$\arcsin^2(x - \beta) + \frac{x^3 + x^2 y + xy^2 + y^3}{1 - \frac{x}{\alpha} + \frac{y}{\beta} \cos(x + \beta - 15^\circ)}$
2	$\frac{\sin 5^\circ \cdot \sqrt[3]{x^2 + y^2}}{\arctg^3(x^4 + y^4)} (\alpha x^2 + \frac{\alpha}{\beta} x^2 y + \frac{\beta}{ \alpha } xy^2 + \beta y^2)$
3	$\log_2 \left  \frac{x - \xi}{y - \phi} \right  + e^{\frac{x}{\beta}} \frac{x^3 + \alpha x^2 + \alpha^2 x + \alpha^3}{\sin^2(y - \beta + 25^\circ)^2}$
4	$\sin^2 \left( x - \frac{56^\circ}{\alpha} \right) + \frac{y^2 + xy + x^2}{\alpha^2 + \beta^2} \arccos^2 \left( x - \frac{\pi}{\alpha} \right)$
5	$e^{-(x^2 - y^2)} \frac{\cos \left( \frac{x}{\alpha} \right) - \sin^2 \left( \frac{y}{\beta} - 30^\circ \right)}{\arccos(\sqrt{\alpha^2 + xy})}$
6	$\frac{\sqrt[5]{ x^2 - y^2 \cos 48^\circ }}{x\sqrt{\alpha y} + y\sqrt{\beta x}} - \arctg^3 \left( \frac{xy}{\alpha + \beta} \right)$

№	Выражение
7	$\frac{\operatorname{tg}^2\left(\alpha \frac{x}{y} + 10^\circ\right) - \operatorname{ctg}^2\left(\beta \frac{y}{x}\right)}{\alpha x^2 + \beta y^2} e^{\left(\sqrt{x} + \sqrt{y}\right)}$
8	$\frac{x^3 + ax^2 + bx + c}{\sqrt{ x - \alpha } + \sqrt{ y - \beta }} \left( \tau \cos^3\left(45^\circ + \frac{x}{\alpha}\right) - 3 \arccos \psi y \right)$
9	$\sin(xy - 21^\circ) \frac{th^2 3x - \frac{xy^3}{3}}{\alpha(x - y^3)} e^{-x^2 + \beta y}$
10	$sh(\alpha x^2 + \beta y^2) \frac{\cos^2\left(\frac{x - \alpha}{\pi}\right) + \sin^2\left(\frac{y - \beta}{\pi} + 5^\circ\right)}{\sqrt[3]{\left(\frac{x}{\alpha} - \frac{y}{\beta}\right)^2}}$

3. Создать пользовательские операторы для вычисления:

- площади круга;
- объема шара;
- боковой поверхности цилиндра;
- площади треугольника по трем сторонам;
- угла прямоугольного треугольника.

Самостоятельно определить тип оператора (унарный, бинарный). Придумайте свой пример создания пользовательского оператора.

4. Выполнить следующие операции:

$$i := 1 .. 10 \quad \sum_i i = \quad \prod_i (i+1) =$$

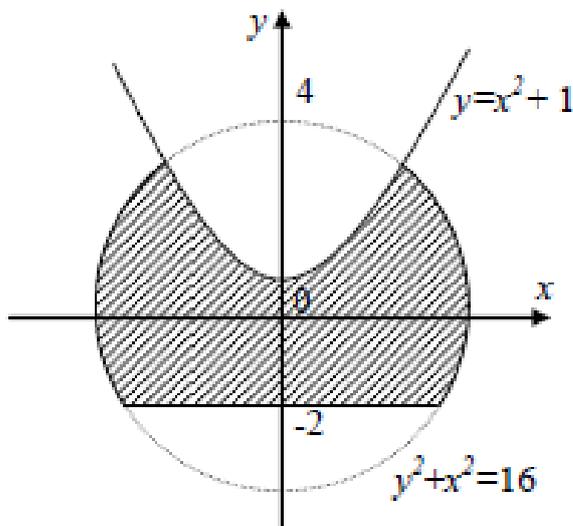
$$\int_0^{0.4} x^2 \cdot \lg(x+2) dx = \quad \int_{0.8}^{1.2} \frac{\operatorname{ctg} 2x}{(\sin 2x)^2} dx = \quad x := 2 \quad \frac{d}{dx} x^5 = \quad \frac{d}{dx} \sin(x) =$$

5. Найти наибольшее значение  $x_i + y_i$  элементов массивов  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и  $y_1, y_2, \dots, y_n$ .

6. Даны две матрицы A и B:

$$A := \begin{pmatrix} 2 & -3 & 2 \\ 1 & 2 & 4 \\ -1 & 5 & 2 \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} -1 & 4 & 0 \\ -2 & 3 & 1 \\ 2 & 0 & 4 \end{pmatrix}$$

7. Составить логическое выражение, которое принимает значение ИСТИНА только в случае, когда точка с заданными координатами  $(x,y)$  принадлежит следующей заштрихованной области:



Выполните над матрицами следующие действия:  $3(A+B)(2B^{-1}-A)+A^2$ .

8. Замените 3-й столбец матрицы  $A$  на 2-ую строку матрицы  $B$ :

$$A := \begin{pmatrix} 1 & 8 & -3 & 0 \\ 2 & -3 & 3 & 2 \\ -3 & 4 & 3 & 7 \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} 12 & 56 & 32 \\ 41 & -13 & 11 \end{pmatrix}$$

9. Для  $N$  видов продукции известны плановый и фактический объемы выпуска. Найдите отклонение фактического объема от планового.

10. Даны два вектора размерности  $N$ . Построить третий вектор, элементы которого равны наибольшему из соответствующих элементов заданных векторов.

11. Построить вектор  $B$ , каждый элемент которого равен максимальному элементу соответствующей строки матрицы  $A$ .

12. Для числовой последовательности, состоящей из  $N$  членов,  $n$ -е значение которой задается выражением  $\sin(2n+1)$ , найти отношение суммы членов с четными номерами к сумме членов с нечетными номерами. Нумерация членов начинается с единицы.

13. Найти значение выражения  $b_1 + b_2 s_1 + b_3 s_1 s_2 + \dots + b_n s_1 s_2 \dots s_{n-1}$ , где  $b_i = i^2 \sin(i)$  и  $s_i = \cos(2i)$ .

14. Известны координаты  $N$  точек на плоскости. Постройте матрицу расстояний между точками. Найдите длину ломаной, последовательно соединяющей точки с четными номерами. Нумерация точек начинается с 1.

15. Вычислите общее сопротивление электрической цепи при параллельном включении  $N$  резисторов с сопротивлением  $R_i$ ,  $i=1,2,\dots,N$ , используя формулу:

$$R_0 = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_N}{R_2 R_3 \dots R_N + R_1 R_3 \dots R_N + \dots + R_1 R_2 \dots R_{N-1}}$$

16. Известен график движения по некоторому маршруту, который задается значениями двух числовых характеристик на его отдельных участках: скорость и время движения на участке. Требуется найти общую длину маршрута.

17. Для проверки закона Ома проводились лабораторные исследования, к известному сопротивлению  $R=0,2$  Ом подводили эталонные напряжения  $U_1, U_2, \dots, U_n$ , в результате чего были измерены токи  $I_1, I_2, \dots, I_n$ :

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U	25	30	35	40	45	50	55	60	65
I	121	144	182	201	220	248	277	302	319

Определить дисперсию D по формуле:

$$D = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (I_i - I_{0i})^2, \text{ где массив чисел, определяемых по закону Ома}$$

$$I = \frac{U}{R}.$$

18. Известны координаты N точек на плоскости. Постройте матрицу расстояний между точками. Найдите длину ломаной, последовательно соединяющей точки с четными номерами. Нумерация точек начинается с 1.

19. В некоторых видах спортивных соревнований выступление спортсмена независимо оценивается несколькими судьями, затем из всей совокупности оценок удаляются наиболее высокая и наиболее низкая, а для оставшихся оценок вычисляется среднее арифметическое. Если наиболее высокую оценку выставило несколько судей, то из совокупности оценок удаляется только одна такая оценка, аналогично поступают с наиболее низкими оценками. Пусть A – вектор оценок спортсмена. Требуется определить зачетную оценку.

20. Пусть массив Prot содержит информацию о результатах соревнования. Первый элемент строки массива Prot задает номер участника, а второй – результат. Построить массив, в котором элементы каждой строки – это соответственно номер участника, его результат и занимаемое место. Если участники показали одинаковый результат, то им присуждается одинаковое место. Массив должен быть упорядочен по результатам.

### 3 Создание графических областей в документе MathCAD

#### 3.1 Классификация графических областей в среде MathCAD

Графические области в среде MathCAD формируются с помощью палитры инструментов **Graph** (рисунок 3), которая подключается через панель инструментов Math или с помощью команды горизонтального меню Insert→Graph. Содержимое палитры Graph представлено в таблице 7.

Все графические области можно разделить на два класса, каждый из которых включает в себя группы областей:

- двумерные графики;

– трехмерные графики.

Таблица 7 – Палитра инструментов Graph

Изображение пиктограммы	Название	Назначение
	X–Y Plot (Декартов график)	позволяет построить график (графики) в декартовой системе координат
	Polar Plot (Полярный график)	позволяет построить график (графики) в полярной системе координат
	Surface Plot (График поверхности)	позволяет построить поверхность в трехмерном пространстве
	Contour Plot (Контурный график, линии уровня поверхности)	позволяет формировать контурный график
	3D Bar Plot (Трёхмерная гистограмма)	позволяет вставлять в документ трехмерные гистограммы
	3D Scatter Plot (Точечный график)	позволяет формировать точечный график
	Vector Field Plot (Векторное поле)	позволяет формировать векторное поле
	Zoom (Увеличение)	позволяет увеличивать участки графика
	Trace (Трассировка)	позволяет графически определять значения координат точек на плоскости

Двумерные графики включают в себя:

- декартовы графики;
- полярные графики.

Трёхмерные графики делятся на следующие виды:

- график поверхности;
- контурный график;
- трехмерная гистограмма;
- точечный график;
- векторное поле.

Следует отметить, что деление графиков на типы несколько условно, т. к., управляя установками различных параметров, можно создавать комбинации

различных типов графиков, а также формировать новые типы. Например, двумерная гистограмма распределения (столбиковая диаграмма) ступенчатый график, представленные на рисунке 24 являются разновидностями простого декартового графика (X-Y-графика). На рисунке 25 также представлены комбинированные графики.

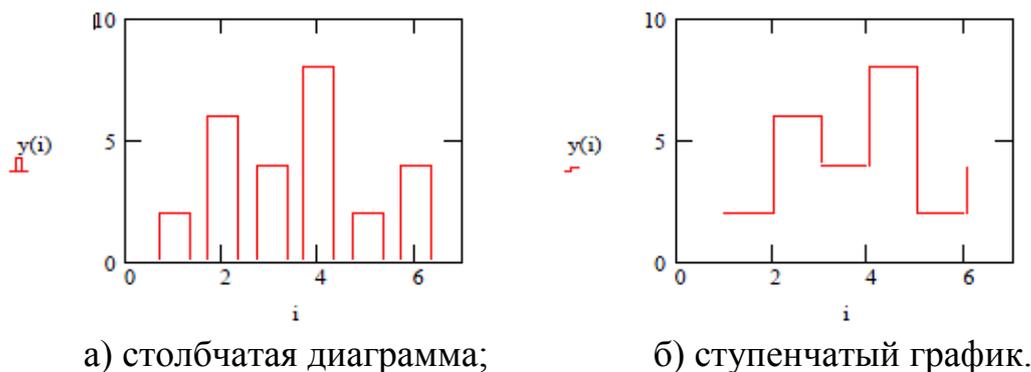


Рисунок 24 – Примеры графиков, созданных на основе комбинации различных типов графиков

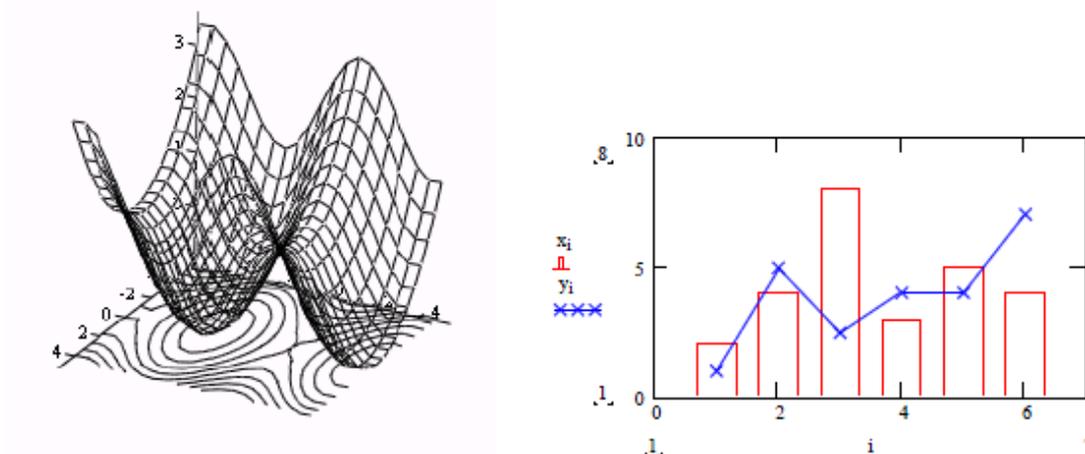


Рисунок 25 – Примеры комбинированных графиков

### 3.2 Построение декартовых графиков

В среде MathCAD предусматривается два способа построения декартового графика функции одной переменной  $y = f(x)$ :

- быстрое построение графика (построение без задания переменной диапазона). При таком построении пределы изменения независимой переменной  $x$  автоматически задаются от  $-10$  до  $10$ , однако, учитывая область допустимых значений функции, среда меняет пределы построения. Например, для функции  $y = \ln(x-3)$  будут установлены пределы от  $3$  до  $10$ ; для функции  $y = \sqrt{x-4}$  будут установлены пределы построения от  $4$  до  $10$ .

- построение с предварительным заданием переменной диапазона (ранжированной переменной). При таком построении пользователь сам указывает границы изменения переменной  $x$ , учитывая область определения функции.

При этом следует учитывать приоритетность расположения вычислительных областей, а именно вычислительная область задания переменной в документе должна располагаться левее или выше графической области.

Для вставки декартового графика первым способом необходимо:

1) на рабочем листе MathCAD задать пользовательскую функцию (далее - функцию), например  $f(x)=\sin(x)$ ;

2) установить курсор для позиционирования ниже или правее определения функции и щелкнуть по пиктограмме X-Y Plot, после чего в документ вставится шаблон графической области, изображенный на рисунке 26; шаблон графической области состоит из двух вложенных друг в друга прямоугольных областей, между которыми находится местозаполнитель (пустые маркеры);

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

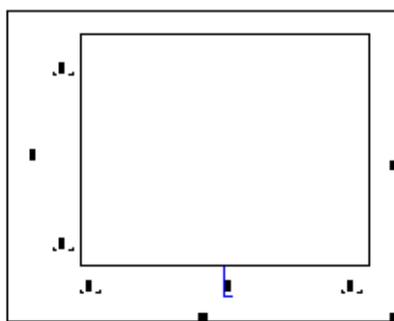
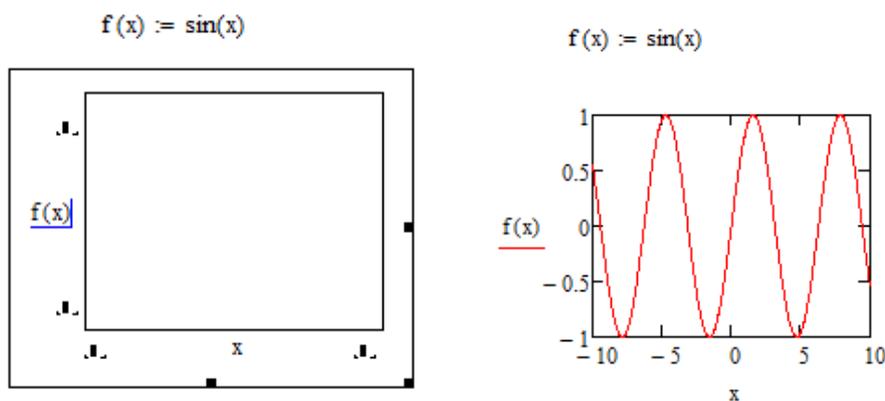


Рисунок 26 – Шаблон графической области для декартового графика

3) ввести в нижний местозаполнитель имя переменной, от которой зависит рассматриваемая функция, в боковой левой местозаполнитель ввести имя функции (рисунок 27 (а));

4) щелкнуть указателем мыши вне создаваемой графической области или нажать на клавишу Enter, после чего в прямоугольной рамке отобразится график синусоиды (рисунок 27 (б)).



а) заполнение местозаполнителей графической области;  
б) отображение графика синусоиды.

Рисунок 27 – Построение декартова графика

Выделим достоинства и недостатки быстрого построения.

*Достоинства:*

- достаточное количество точек обеспечивает гладкий график, что позволяет оценить все особенности поведения функции;
- возможность менять произвольно масштаб при добавлении точек построения.

*Недостатки:*

- большое количество точек построения графика замедляет работу системы;
- если переменная, от которой зависит функция, уже задана числовым значением до построения графика, то графическая область не будет построена.

Для построения графика на плоскости с помощью ранжированной переменной необходимо:

- 1) установить курсор позиционирования выше или левее графической области (по отношению к определению функции  $f(x)=\sin(x)$  ранжированная переменная  $x$  может находиться произвольно);
- 2) вставить ранжированную переменную  $x$ , которая будет изменяться, например от  $-2\pi$  до  $2\pi$  (рисунок 28);
- 3) закончить ввод пределов построения нажатием клавиши Enter или щелчком указателя мыши вне области.

**Замечание:** следует отметить, что в данном примере диапазон изменения переменной  $x$  содержит только начальное и конечное значения  $x_0=-2\pi$  и  $x_n=2\pi$ . При таком формате ранжированной переменной шаг изменения  $h$  переменной  $x$  по умолчанию считается равным 1 и при этом переменная  $x$  принимает следующие значения:  $x_0, x_0 + 1, x_0 + 2, \dots, x_0 + k \leq x_n$ . В связи с чем график функции будет иметь грубую искажённую форму (рисунок 28). Поэтому на не большом интервале задания  $x$  рекомендуется брать более мелкий шаг, например  $h=0,01$  (рисунок 28).

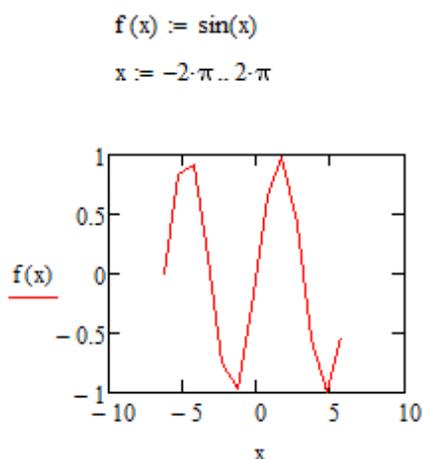


Рисунок 28 – Построение декартового графика с помощью ранжированной переменной

На рисунках 28 и 29 график функции построен только в пределах заданного диапазона изменения переменной  $x$  (от  $-2\pi = -6.283$  до  $2\pi = 6.283$ ), границы которого не совпадают с автоматически установленными границами на оси абсцисс  $-10$  до  $10$ . Если графическую область сделать активной (щелкнуть указателем мыши на область графика), то станут активными числовые значения концов диапазона задания переменной  $x$  и границы диапазона изменения значений функции (рисунок 30).

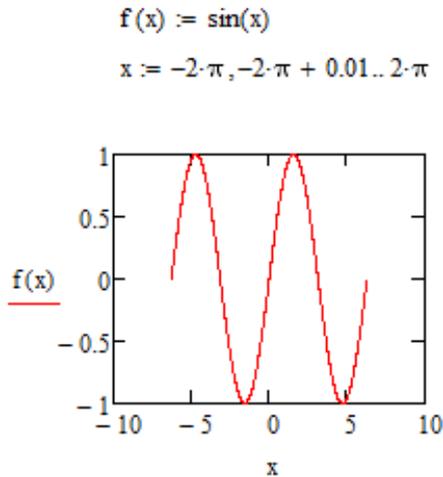


Рисунок 29 - Построение декартового графика с помощью ранжированной переменной шагом изменения  $0,01$

Следует обратить внимание, что отображенная правая граница изменения переменной  $x$  равна  $6,277$ , что не соответствует заданной правой границе. Это связано с тем, что значение  $6,277+0,01$  выходит за предел построения графика, равный  $6,283$ , поэтому в графической области отображается последнее значение переменной, не выходящее за указанный диапазон построения.

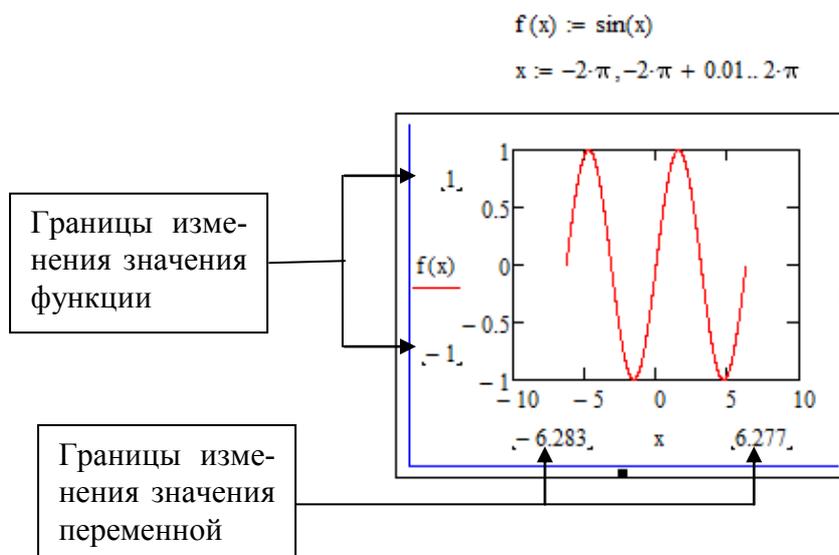


Рисунок 30 – Отображение пределов изменения переменной и значений функции

Для того чтобы построить график функции на другом промежутке и (или) с другим шагом, следует отредактировать вычислительную область ранжированной переменной.

Отметим достоинства и недостатки данного способа построения.

*Достоинства:*

– количество точек построения задается пользователем, оптимальный выбор количества точек позволяет увеличить скорость работы системы MathCAD (например, при перерисовке содержимого экрана при прокрутке документа).

*Недостатки:*

– возникает вероятность пропустить особенности поведения функции на графике при большом шаге изменения переменной, например, резкие изменения, уход в бесконечность и пр.;

– при увеличении масштаба графика происходит уменьшение интервала и количество оставшихся точек на графике, попадающих в этот интервал, оказывается недостаточным для изучения, исследования функции;

– при увеличении интервала построения уменьшается масштаб, новые точки не добавляются и поэтому добавленная часть графика оказывается пустой.

При построении графика можно менять не только диапазон изменения переменной, но и границы осей координат. Рассмотрим это на примере построенного графика функции  $f(x)=\sin(x)$ . Для этого следует:

- 1) активизировать графическую область;
- 2) изменить значения в верхнем и нижнем знаках слева и в правом и левом знаках внизу (рисунок 31), например, по оси ординат от -0,2 до 0,5; по оси абсцисс от -7 до 8,5;
- 3) закончить редактирование щелчком указателя мыши вне графической области

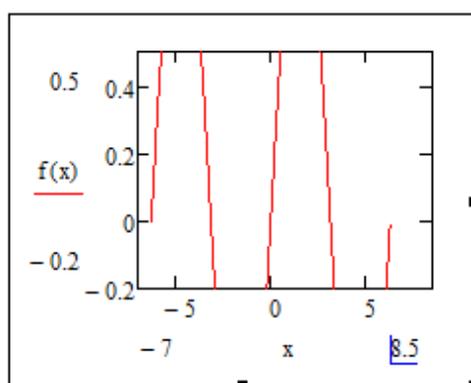


Рисунок 31 – Изменение границ осей координат

*Пример 3.* Для заданных значений  $a$  и  $h$  построить график функции  $y=x^2 \cos(x)$  на отрезке  $[-a; 2a]$  изменения переменной  $x$  с шагом  $h$ .

Для решения данной задачи необходимо выполнить следующее:

- 1) на рабочем листе задать пользовательскую функцию  $y=x^2 \cos(x)$ ;

2) в любом месте документа определить значение параметра  $a$  и шага изменения переменной  $h$ ; например,  $a=2\pi$ ,  $h=0,01\pi$ ;

3) ниже или правее задать ранжированную переменную  $x$ , изменяющуюся от  $-a$  до  $2a$  с шагом  $h$ ;

4) ниже определения ранжированной переменной вставить графическую область для построения декартова графика заданной функции;

5) щелкнуть указателем мыши вне создаваемой области.

Один из вариантов оформления MathCAD-документа представлен на рисунке 32. Необходимо обратить внимание на значения границ осей координат, переопределение которых будет автоматическим при любом изменении значения параметра  $a$ .

$$f(x) := x^2 \cdot \cos(x)$$
$$a := 2 \cdot \pi \quad h := 0.01 \cdot \pi$$
$$x := -a, -a + h .. 2 \cdot a$$

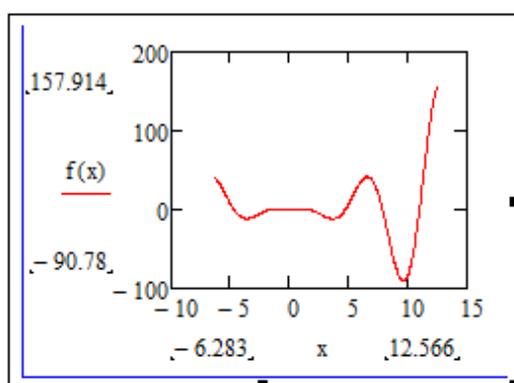


Рисунок 32 – Пример построения декартова графика

Самостоятельно измените значения параметра  $a$  и шага  $h$ . Оцените результаты.

### 3.3 Построение графиков нескольких функций в одной плоскости

Для построения графиков нескольких функций следует:

- 1) определить выражения пользовательских функций;
- 2) при необходимости определить ранжированную переменную;
- 3) вставить область декартового графика;
- 4) в нижний местозаполнитель ввести имя переменной; в левый местозаполнитель – имена функций; разделителем имен функций служит запятая, которая размещает дополнительный свободный местозаполнитель (рисунок 33);
- 5) щелчком указателя мыши вне графической области закончить построение графиков.

*Пример 4.* В одной графической области построить графики следующих функций:

$$y_1 = \frac{x \cdot \cos(x)}{4,5} \quad y_2 = \frac{3x^2 - 7,8}{x^2 + 4} \quad y_3 = 1.$$

Для решения данной задачи не будем отдельно определять функции на рабочем листе, а вставим выражения функций непосредственно в местозаполнители графической области, согласно правилам формирования выражений. Зададим самостоятельно диапазон изменения  $x$  с помощью ранжированной переменной, например, пусть  $x$  изменяется на отрезке  $[-15;15]$  с шагом  $h=0.01$ . Возможный вариант оформления документа представлен на рисунке 34.

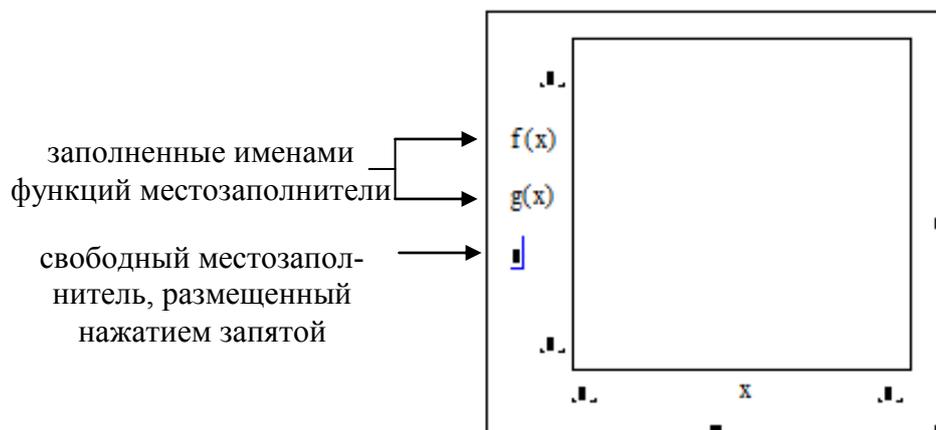


Рисунок 33 – Создание графической области, отображающей графики нескольких функций

**Замечание:** если по условию задачи формулы заданных функций являются достаточно громоздкими или они используются при решении задачи неоднократно, то имеет смысл определить пользовательские функции левее или выше графической области. При этом у каждой функции должно быть уникальное имя в пределах данного документа.

Выполним построение графиков этих же функций с помощью определения пользовательских функций  $f(x)$ ,  $g(x)$ ,  $t(x)$ , для этого следует:

- 1) выше или левее графической области на рабочем листе ввести имя первой функции  $f(x)$ , вставить оператор присваивания;
- 2) в построенной графической области в первом местозаполнителе выделить выражение  $\frac{x \cdot \cos(x)}{4,5}$  с помощью комбинации клавиш  $Shift+\rightarrow$  (или  $Shift+\leftarrow$ ) и вырезать его в буфер обмена;
- 3) в вычислительной области задания функции  $f(x)$  вставить вырезанное выражение справа от оператора присваивания;
- 4) аналогичные действия выполнить по отношению в функции  $g(x)$ ;
- 5) функцию  $t(x)$  определить с клавиатуры;
- 6) в графической области в боковых местозаполнителях ввести имена определенных выше функций через разделитель – запятую;

$x := -15, -15 + 0.01.. 15$

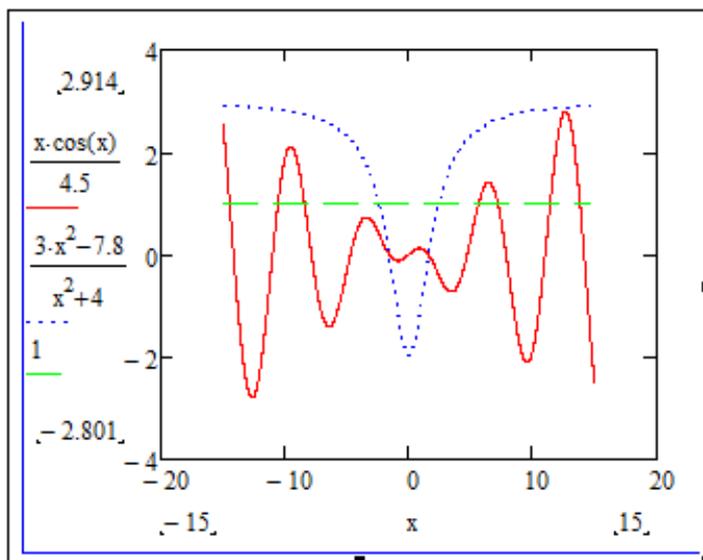


Рисунок 34 – Построение графиков трех функций в одной плоскости

7) щелчком указателя мыши вне графической области закончить построение графиков.

Возможный вариант оформления документа представлен на рисунке 35.

$x := -15, -15 + 0.01.. 15$

$$f(x) := \frac{x \cdot \cos(x)}{4.5} \quad g(x) := \frac{3 \cdot x^2 - 7.8}{x^2 + 4} \quad t(x) := 1$$

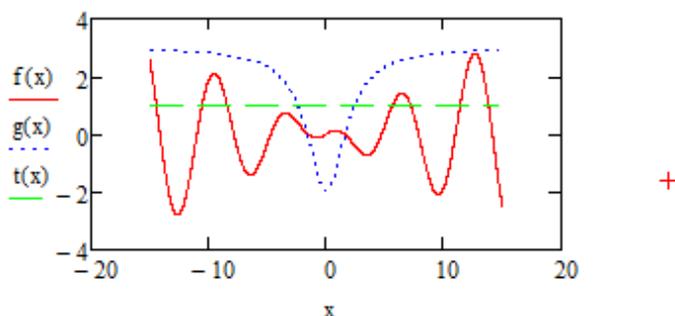


Рисунок 35 – Построение графиков трех функций в одной плоскости с помощью определения пользовательских функций

*Пример 5.* Построить график следующей функции, сделать вывод о непрерывности функции:

$$y = \begin{cases} x^2 - 2, & \text{если } -3 \leq x < 1 \\ 5,5 \cdot \cos(3x), & \text{если } 1 \leq x \leq 5 \\ \sqrt{x+1}, & \text{если } 5 < x \leq 8,2 \end{cases}$$

Рассмотрим решение данной задачи двумя способами.

*1 способ:* функция является кусочной, т.е. на разных интервалах значения функции вычисляются по разным формулам, поэтому имеет смысл определить три различные ранжированные переменные, изменяющиеся на заданных интервалах с достаточно маленьким шагом, например  $x$ ,  $z$ ,  $r$  и построить три разных графика функций в одной плоскости, зависящих от этих переменных. Сохранить документ под именем *Пример5.mcd*. Вариант решения задачи представлен на рисунке 36.

Анализируя графики можно сделать вывод, что данная функция имеет две точки разрыва при  $x=1$  и  $x=5$ .

**Замечание:** при вводе имен переменных в графической области они разделяются запятой, которая размещает свободный местозаполнитель.

Следует обратить внимание, что поскольку решение данной задачи мы свели к построению графиков трех функций, то они на плоскости отображаются разными цветами, что лишает нас целостного восприятия исходной функции. Исправить этот недостаток можно с помощью второго способа построения.

*2 способ:*

Для построения графика данной кусочной функции можно использовать кусочно-непрерывную функцию `if`, которую можно вставить из категории `Piecewise Continuous` диалогового окна Вставка функции (рисунок 18). Будем называть данную функцию логической (сноска 1, стр. 24). Поскольку алгоритм нахождения значения заданной функции является ветвлением, то его можно графически изобразить следующим образом (рисунок 37):

$x := -3, -3 + 0.01 .. 1$

$z := 1, 1.1 .. 5$

$r := 5, 5 + 0.01 .. 8.2$

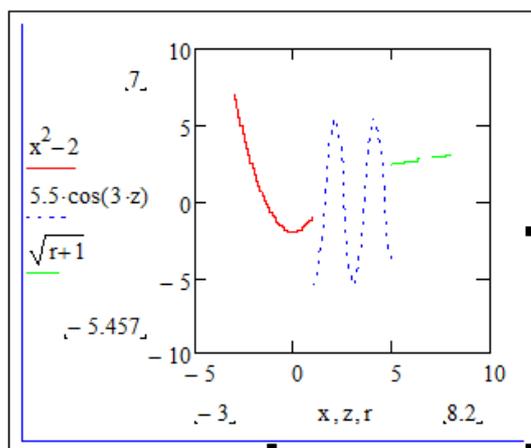


Рисунок 36 – Построение кусочно-заданной функции

Как видно из рисунка 37 данное простое ветвление является вложенным с глубиной вложенности, равной 2. Для реализации данного ветвления будем использовать вложенную логическую функцию `if`.

Необходимо учитывать, что поскольку функция  $y$  задана на отрезке  $[-3; 8,2]$ , то для решения данной задачи будем использовать ранжированную переменную с шагом изменения  $0,01$  как и в предыдущем способе. В связи с этим проверка условий не требует ограничения переменной начальным и конечным значениями, что сократит алгоритм реализации (рисунок 38).

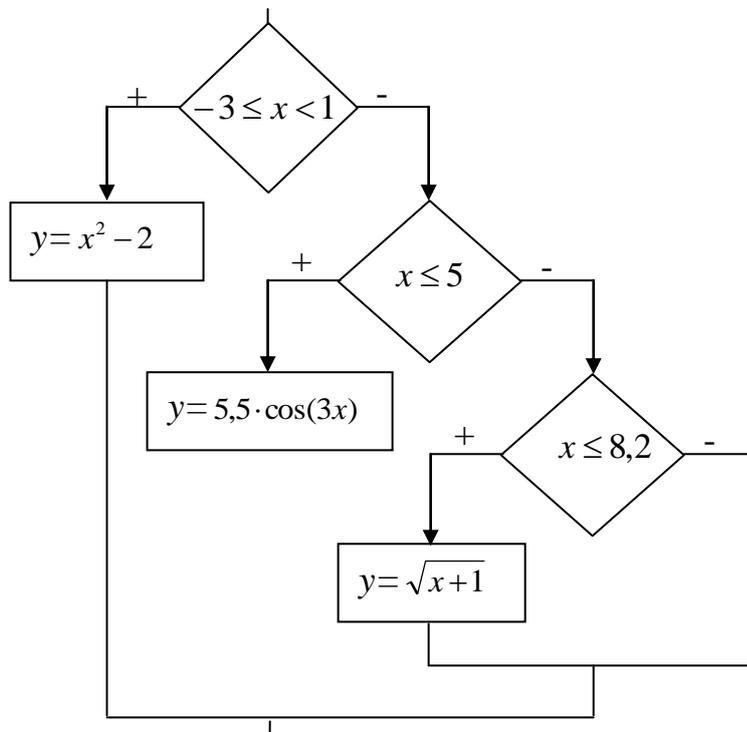


Рисунок 37 – Алгоритм по типу простого ветвления нахождения значения функции в примере 5

$$y(x) := \text{if}(x < 1, x^2 - 2, \text{if}(x \leq 5, 5.5 \cdot \cos(3 \cdot x), \sqrt{x + 1}))$$

$$x := -3, -3 + 0.01 \dots 8.2$$

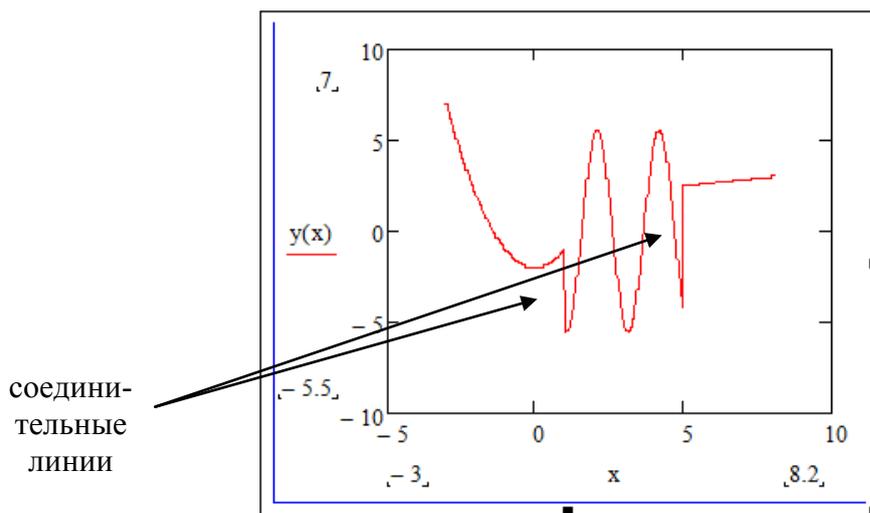


Рисунок 38 – Построение кусочно-заданной функции с помощью кусочно-непрерывной функции if

Синтаксис функции представлен ниже:

$$y(x) := \text{if}(x < 1, x^2 - 2, \text{if}(x \leq 5, 5.5 \cdot \cos(3 \cdot x), \sqrt{x + 1}))$$

Возможный вариант оформления документа показан на рисунке 38.

Поскольку построение графика в системе MathCAD осуществляется путем последовательного соединения соседних точек, то места разрывов на графике заполняются отрезками, показанными на рисунке 38, график при этом представляется в виде непрерывной линии (эффект непрерывности).

Чтобы устранить этот недостаток достаточно рассмотреть на заданных трех отрезках три разные переменные (как в предыдущем способе), но вести построение одной и той же функции  $y(x)$ .

**Замечание:** если кусочно-заданная функция имеет числовые значения не на всех промежутках, указанных в ее описании по условию задачи, например, на каком-либо промежутке указано, что функция не определена в данных точках, то при использовании функции `if` в качестве 2-го или 3-го параметра может выступать соответствующий текст, размещенный в двойных кавычках. При построении этот текст игнорируется, и график на этом участке не строится.

### 3.4 Форматирование графиков

Процесс форматирования графиков может включать в себя изменение следующих параметров:

- управление внешним видом координатных осей, шкалой;
- управление нумерацией меток;
- отображение некоторых значений на осях при помощи маркеров;
- вывод горизонтальной и/или вертикальной сетки;
- изменение цвета и стиля линии графика;
- вывод заголовков.

Для изменения параметров графика можно воспользоваться одним из трех способов:

*1 способ:*

- 1) выделить графическую область (сделать ее активной);
- 2) выполнить команду `Format`→`Graph`→`X-Y Plot` (Формат→ График→X-Y График), после чего откроется диалоговое окно **Formatting Currently Selected X-Y Plot** (Форматирование выбранного графика), представленное на рисунке 39;

- 3) установить необходимые параметры;
- 4) нажать кнопку *Применить* для просмотра изменений параметров графика без закрытия диалогового окна или нажать кнопку *Ok*.

*2 способ:*

- 1) дважды щелкнуть по области формируемого графика, после чего откроется диалоговое окно **Formatting Currently Selected X-Y Plot** (Форматирование выбранного графика);

- 2) выполнить 3), 4) пункты алгоритма предыдущего способа.

3 способ:

1) правой кнопкой мыши вызвать контекстное меню графической области;

2) выполнить команду Format (Формат), после чего откроется диалоговое окно **Formatting Currently Selected X-Y Plot** (Форматирование выбранного графика);

3) выполнить 3), 4) пункты алгоритма первого способа.

Рассмотрим более подробно параметры форматирования графика. В диалоговом окне форматирования представлено 5 вкладок.

Вкладка X-Y Axes предназначена для настройки параметров координатных осей и шкал графической области. На ней представлены две группы одинаковых флажков для осей X и Y, назначение которых представлено в таблице 8.

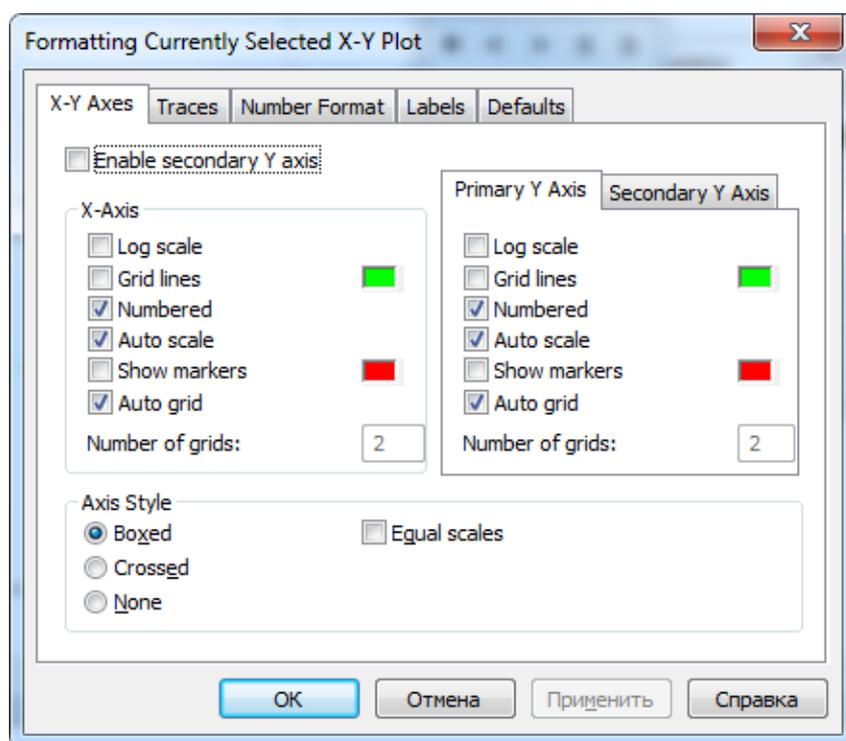


Рисунок 39 – Диалоговое окно Formatting Currently Selected X-Y Plot

Следует отметить, что параметры Grid lines и Show markers имеют возможность настройки цвета. Справа от данных флажков в диалоговом окне Formatting Currently Selected X-Y Plot расположены прямоугольные области по умолчанию зеленого и красного цвета соответственно (рисунок 39), что означает, что линии сетки при установке будут зеленого цвета, а маркеры - красного. Данную настройку можно изменить двойным щелчком по данным областям, что позволит вызвать диалоговое окно **Цвет** (рисунок 40).

Также на рассматриваемой вкладке представлена группа переключателей Axis Style (Стиль осей), которые позволяют управлять отображением стиля координатных осей:

Таблица 8 – Параметры форматирования вкладки X-Y Axes диалогового окна Formatting Currently Selected X-Y Plot

Название параметра	Назначение параметра
Log scale (Логарифмический масштаб)	позволяет построить график по данной оси в логарифмическом масштабе; данный параметр целесообразно использовать, если данные отличаются друг от друга на несколько порядков
Grid lines (Линии сетки)	позволяет показать линии сетки
Numbered (Нумерация)	позволяет показать нумерацию шкалы
Autoscale (Автоматический масштаб)	устанавливает автоматический выбор диапазона оси
Show markers (Показать маркеры)	позволяет разместить свободные местозаполнители для каждой оси не более двух, с помощью которых можно разместить маркеры (линии, перпендикулярные осям, имеющие конкретные значения или представленные переменной или выражением). Маркеры появляются после заполнения местозаполнителей числами, переменными или выражениями.
Autogrid (Автоматическая разметка шкалы)	позволяет разбить шкалу автоматически; при снятом флажке в поле ввода Number of grids необходимо указать нужное количество меток шкалы (по умолчанию это количество равно 2)

- Boxed (Прямоугольник) является стилем по умолчанию, при котором график отображается в прямоугольной области (использован в рассмотренных ранее примерах);
- Crossed (Пересечение) является оптимальным стилем, при котором координатные оси отображаются в виде двух пересекающихся прямых;
- None (Нет) является стилем, при котором координатные оси отсутствуют.

**Замечание:** на вкладке X-Y Axes флажок Equal scales (Одинаковый масштаб) позволяет установить одинаковый масштаб для осей X и Y.

*Пример 6.* Построить график функции  $y(x) = \frac{5 \cdot x^2}{x^2 - 4}$ . В созданной графической области отобразить пересечение осей и разместить вертикальные асимптоты  $x=-2$  и  $x=2$  синего цвета и горизонтальную асимптоту  $y=5$  голубого цвета.

Для решения данной задачи следует выполнить следующее:

- 1) на рабочем листе определить функцию  $y(x)$ ;
- 2) ниже или правее вставить графическую область с указанием имен переменной  $x$  и функции  $y(x)$ ;
- 3) изменить вручную границы оси  $y$ , например, от -15 до 20;
- 4) оценить полученный результат (рисунок 41);

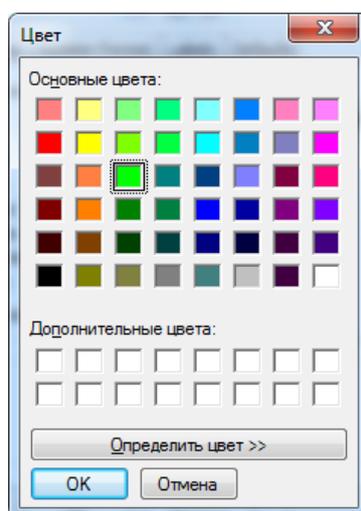


Рисунок 40 – Диалоговое окно Цвет

- 5) вызвать диалоговое окно Formatting Currently Selected X-Y Plot любым способом и установить переключатель Crossed;
- б) нажать кнопку *Применить* и оценить результат (рисунок 42);

$$y(x) := \frac{5 \cdot x^2}{x^2 - 4}$$

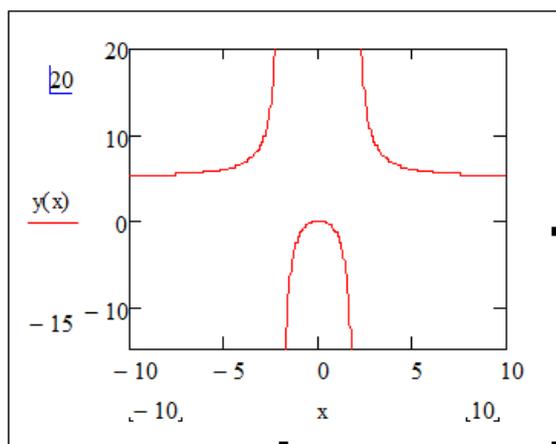


Рисунок 41 – График функции

$$y(x) = \frac{5 \cdot x^2}{x^2 - 4} \text{ (стиль осей Boxed)}$$

$$y(x) := \frac{5 \cdot x^2}{x^2 - 4}$$

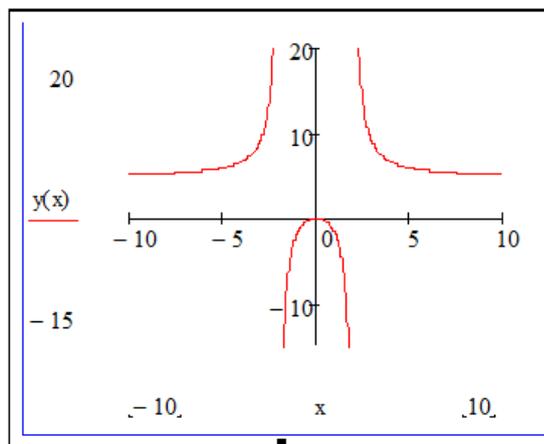


Рисунок 42 – График функции

$$y(x) = \frac{5 \cdot x^2}{x^2 - 4} \text{ (стиль осей Crossed)}$$

- 7) для размещения вертикальных асимптот установить флажок для оси абсцисс Show markers в группе переключателей X Axes;
- 8) щелкнуть по области цвета параметра Show markers для оси X и выбрать синий цвет;
- 9) для размещения горизонтальной асимптоты установить флажок для оси ординат Show markers в группе переключателей Y Axes;

10) щелкнуть по области цвета параметра Show markers для оси Y и выбрать голубой цвет;

11) нажать по кнопке Ok, после чего в графической области появятся местозаполнители (рисунок 43);

12) в левый и правый местозаполнители для оси абсцисс ввести значения -2 и 2 соответственно;

13) в верхний местозаполнитель для оси ординат ввести значение 5;

14) щелкнуть указателем мыши вне графической области и оценить полученный результат (рисунок 44).

**Замечание:** необходимо обратить внимание на то, что значения маркеров отображаются вверху (для оси X) и справа (для оси Y). Если при вводе значений была допущена ошибка, то следует поместить курсор в требуемое значение, удалить текущее и вставить новое. При удалении текущего значения появляется снова местозаполнитель, который снова размещается внизу (для оси абсцисс) или слева (для оси ординат).

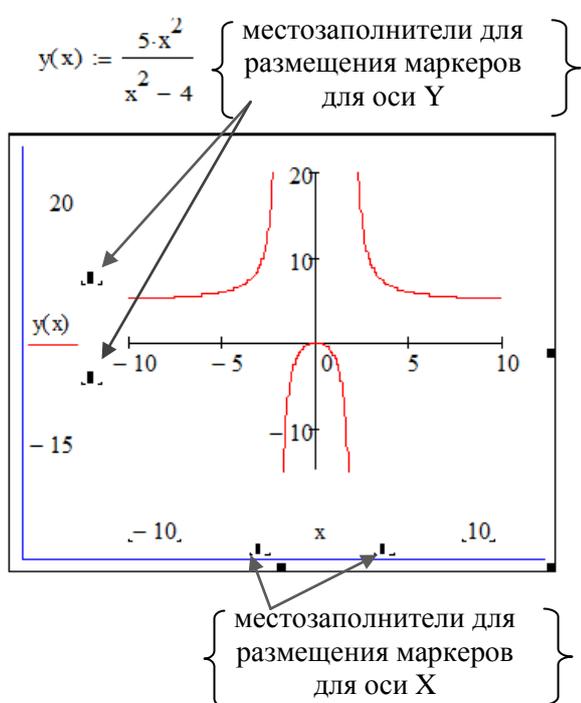


Рисунок 43 – Отображение местозаполнителей для размещения маркеров (асимптот)

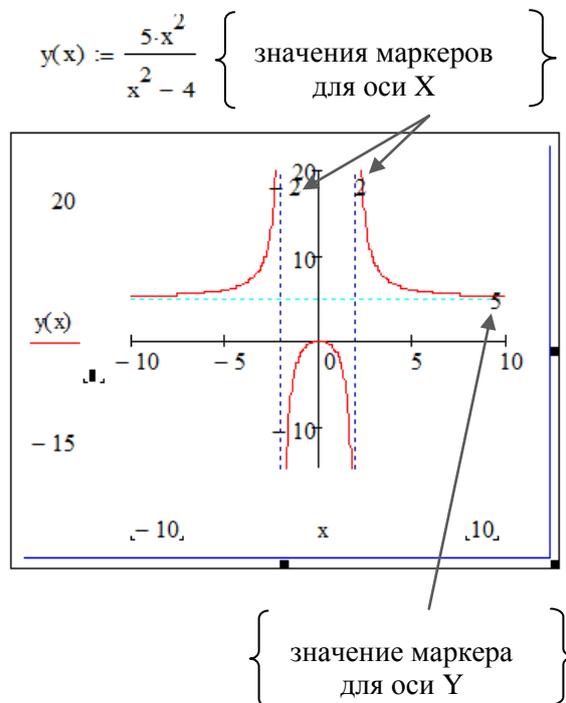


Рисунок 44 – Отображение размещенных асимптот

Вкладка Traces (Линии) предназначена для управления отображением линий и точек для каждого из рядов данных, представленных на графике (рисунок 45). В таблице 9 представлены параметры форматирования линии графика, их назначение и множество допустимых значений.

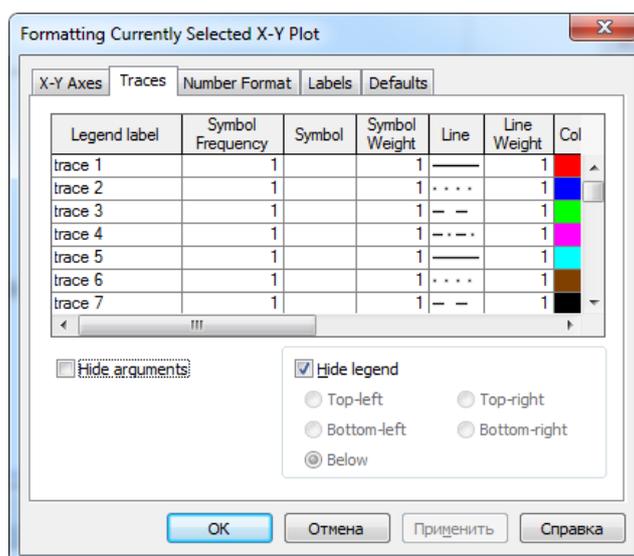


Рисунок 45 – Диалоговое окно Formatting Currently Selected X-Y Plot (вкладка Traces)

Таблица 9 – Параметры форматирования вкладки Traces диалогового окна Formatting Currently Selected X-Y Plot

Название параметра	Назначение параметра	Множество допустимых значений
Legend label (Легенда)	текстовое поле, позволяющее разместить текст легенды, отображаемый в какой-либо части графической области (внизу, выше слева, выше справа, ниже слева, ниже справа); при этом флажок Hide legend (Скрыть легенду) должен быть снят;	строка не более 63 символов.
Symbol Frequency (Частота символа)	позволяет установить частоту размещения выбранного символа по линии графика;	1, 2, 3, ...N; чем больше значение частоты, тем больше расстояние между символами по линии графика.
Symbol (Символ)	позволяет выбрать из списка символ, которым могут быть обозначены отдельные точки данных (акцент на основных или главных точках графика);	Пустой элемент (отсутствует), +, ×, □, ○, ◇, Δ, ■, ●, ▲, ◆.
Symbol Weight (Толщина символа)	устанавливает толщину символов;	целое значение из диапазона 1–9.

Продолжение таблицы 9

Название параметра	Назначение параметра	Множество допустимых значений
Line (Линия)	позволяет выбрать стиль линии графика;	сплошная, пунктирная, штриховая, штрихпунктирная.
Color (Цвет)	позволяет выбрать цвет линии графика и (или) точек данных;	палитра готовых цветов и спектр для создания нового цвета (рисунок 39).
Line Weight (Толщина линии)	позволяет установить толщину линии графика или точек данных;	целое значение из диапазона 1–9.
Type (Тип)	Позволяет выбрать тип представления ряда данных (в виде линии, точек, столбцов и пр.);	<i>lines</i> (линии), <i>points</i> (точки), <i>error</i> (ошибка), <i>bar</i> (столбец, используется для создания диаграмм на плоскости), <i>step</i> (шаг), <i>draw</i> (рисунок), <i>stem</i> (стержень), <i>solidbar</i> (сплошной столбец).

Все параметры форматирования представлены на вкладке в виде таблицы с полосой прокрутки. Каждая запись таблицы представляет собой набор установленных параметров форматирования для конкретной линии.

Каждая линия, размещенная в графической области, именуется  $\text{trace}N$ , где  $N$ -натуральное число, которое соответствует порядковому номеру имени функции или выражения на оси  $Y$  в графической области. Для форматирования определенной линии необходимо выделить в таблице запись (ряд данных), соответствующую имени линии и установить требуемые значения параметров в полях ввода. При выделении ячейки таблицы активизируется раскрывающее меню допустимых значений (рисунок 46).

*Пример 7.* Для построенного графика функции в примере 6 установить следующие параметры форматирования: разместить внизу графической области легенду *Функция 1*, ряд данных отобразить в виде линии с базовыми точками в виде кружков розового цвета, частота размещения которых равна 10.

Для решения данной задачи необходимо выполнить действия:

- 1) активизировать диалоговое окно Formatting Currently Selected X-Y Plot для созданной графической области функции  $y(x) = \frac{5 \cdot x^2}{x^2 - 4}$ ;
- 2) открыть вкладку Traces;
- 3) активизировать поле Legend label в первой записи и ввести текст Линия графика 1;

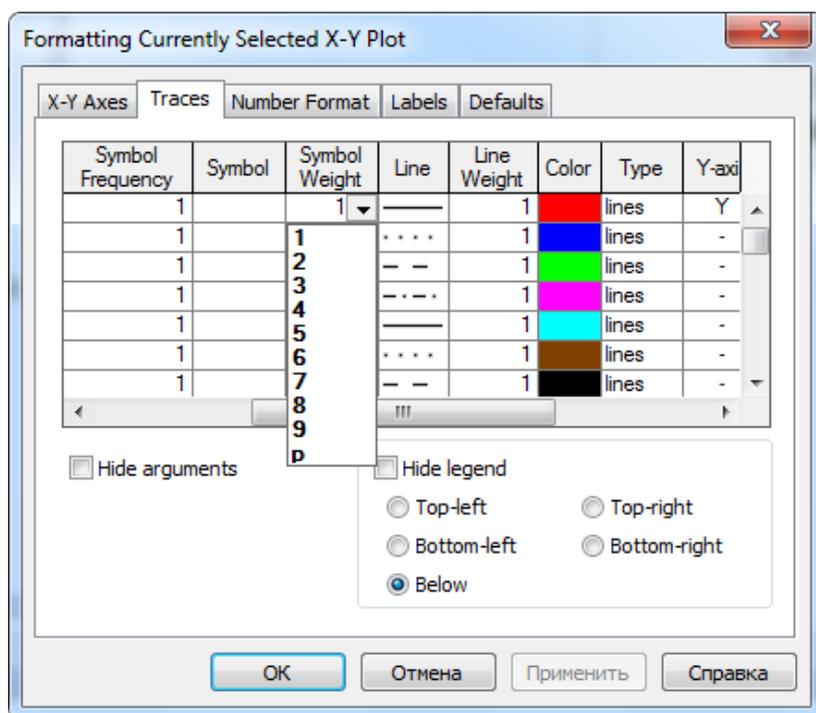


Рисунок 46 – Диалоговое окно с активированным списком множества допустимых значений параметра форматирования Symbol Weight

- 4) для отображения ряда данных в виде линии с базовыми точками в виде кружочков необходимо в поле Types оставить параметр lines, в поле Symbol выбрать символ  $\circ$ ;
- 5) для установки частоты символа в поле Symbol Frequency ввести значение 10;
- 6) для выбора цвета щелкнуть в поле Color, в появившемся диалоговом окне выбрать розовый цвет;
- 7) нажать кнопку *Применить* и оценить результаты (рисунок 47);
- 8) в случае верно установленных параметров нажать кнопку *Ok*; в случае допущенной ошибки вернуться к настройке требуемого параметра.

Вкладка Labels (Метки) предназначена для управления размещением заголовков графика и координатных осей (рисунок 48). Рассмотрим создание заголовков на примере графика функции, отображенного на рисунке 47 (пример 7).

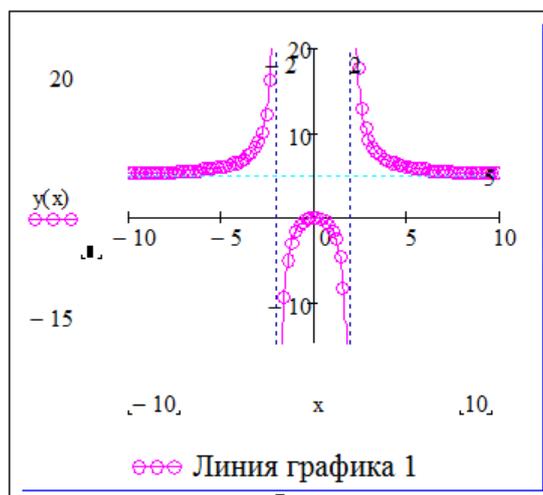


Рисунок 47 – Вид отформатированной линии графика функции

$$y(x) = \frac{5 \cdot x^2}{x^2 - 4}$$

Пример 8. В графической области, построенной для функции  $y(x) = \frac{5 \cdot x^2}{x^2 - 4}$ , разместить заголовки графика и координатных осей.

Для создания заголовков необходимо:

1) активизировать диалоговое окно Formatting Currently Selected X-Y

Plot для созданной графической области функции  $y(x) = \frac{5 \cdot x^2}{x^2 - 4}$ ;

2) открыть вкладку Labels;

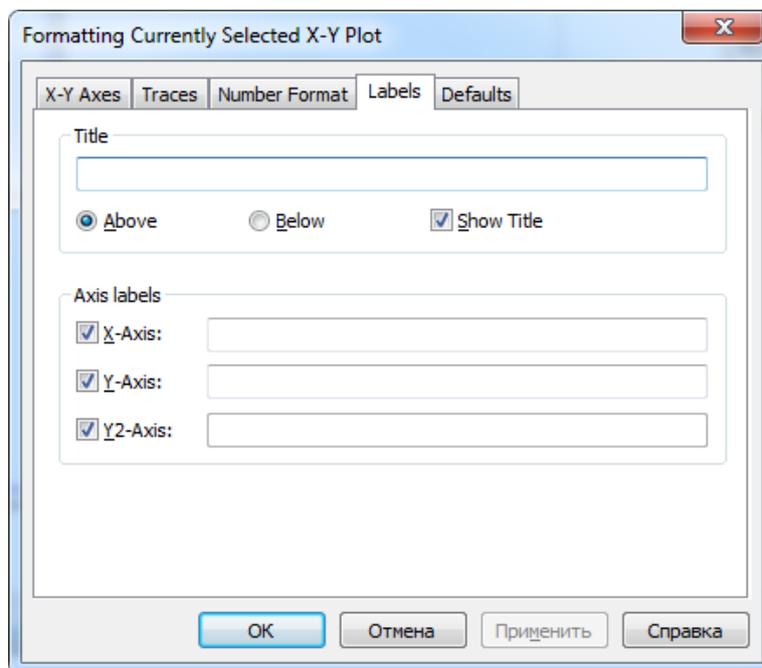


Рисунок 48 - Диалоговое окно Formatting Currently Selected X-Y Plot (вкладка Labels)

- 3) в текстовом поле Title ввести заголовок – *Построение графика функции, имеющей точки разрыва*;
- 4) установить флажок Show Title (Показать заголовок);
- 5) активизировать один из переключателей Above (Сверху) или Below (Снизу);
- 6) в группе флажков Axis labels (Метки осей) установить флажки X-Axis и Y-Axis;
- 7) справа от флажков X-Axis и Y-Axis ввести заголовки осей в текстовые поля;
- 8) нажать кнопку *Применить* оценить результат (рисунок 49);
- 9) в случае желаемого результата нажать кнопку Ok (в противном случае внести изменения).

**Замечание:** при работе с текущим документом можно изменить настройки форматирования по умолчанию, для этого следует использовать на вкладке Defaults (По умолчанию) диалогового окна Formatting Currently Selected X-Y Plot (рисунок 50) флажок Use for Defaults (Использовать для установок по умолчанию), после чего параметры выбранного графика станут настройками по умолчанию для данного документа. Вернуть предыдущие настройки по умолчанию можно с помощью кнопки Change to Defaults (Вернуть установки по умолчанию).

Вкладка Number Format (Числовой формат) диалогового окна Formatting Currently Selected X-Y Plot позволяет управлять форматом вывода числовых значений, описание параметров данной вкладки и правила их использования описаны в п. 1.3.4 настоящих методических рекомендаций (рисунок 22).

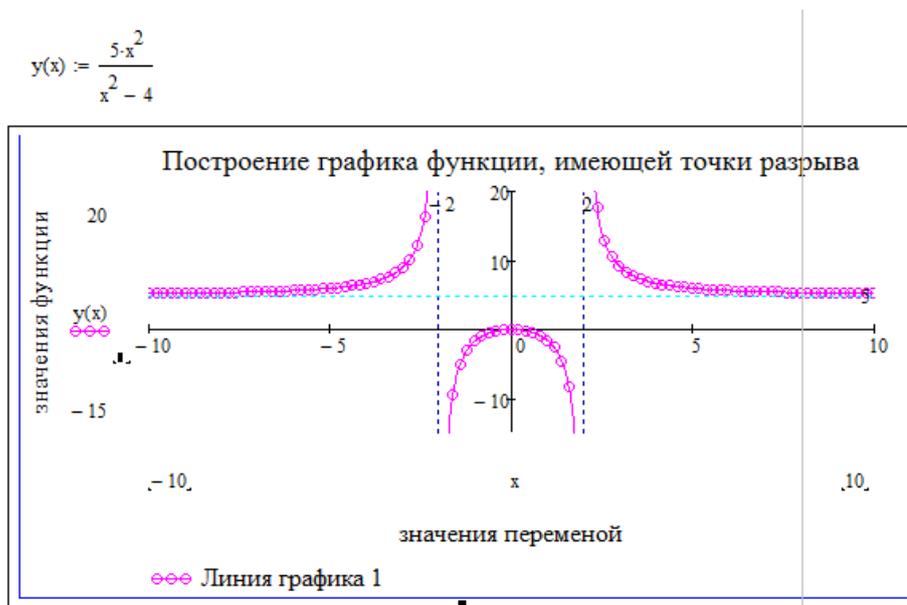


Рисунок 49 – Вид графической области с заголовками

*Пример 9. Построение зависимости расхода топлива от скорости автомобиля*

Автомобиль расходует  $Q$  л бензина на 100 км пути, что можно рассчитать по формуле:

$$Q = (a \cdot v - b + \frac{c}{v}) \cdot e^{k \cdot v}, \text{ где } v \text{ – скорость автомобиля (км / ч); } a, b, c, k \text{ – коэф-}$$

фициенты, зависящие от ходовых свойств автомобиля.

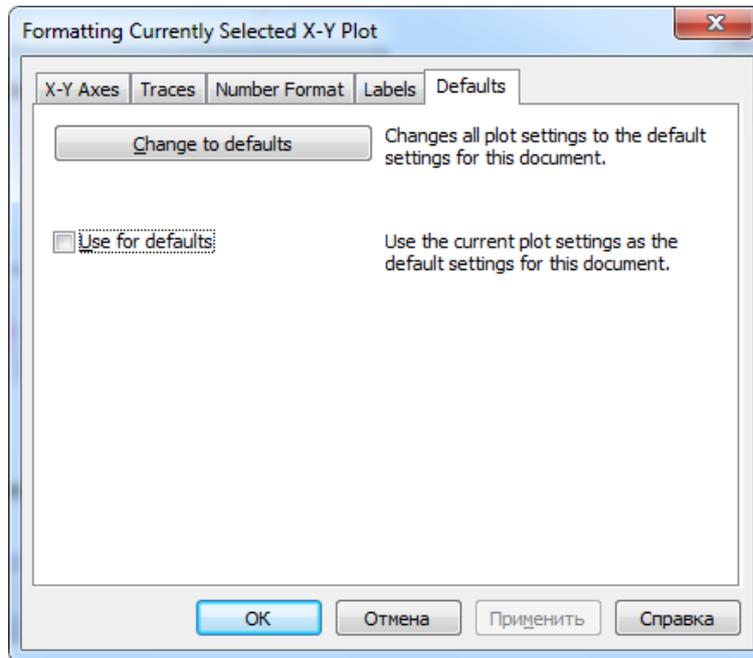


Рисунок 50 - Диалоговое окно Formatting Currently Selected X-Y Plot (вкладка Defaults)

Для  $a=0,21$  л·ч/км,  $b=18$  л/км,  $c=760$  л·ч,  $k=0,005$  ч/км построить график зависимости расхода бензина  $Q$  (в литрах) от скорости автомобиля  $v$  ( $10 \text{ км/ч} \leq v \leq 100 \text{ км/ч}$ ), считая интервал изменения скорости равным 5 км/ч. Отметить на графике точки минимального и максимального расхода топлива.

Для решения данной задачи следует выполнить действия:

- 1) на рабочем листе MathCAD определить значения параметров  $a, b, c, k$ ;
- 2) определить функцию  $Q(v)$  заданным выражением;
- 3) разместить на листе ранжированную переменную  $v$ , изменяющуюся на отрезке  $[10; 100]$  с шагом изменения  $h=5$ ;
- 4) ниже или правее вставить графическую область для построения графика зависимости  $Q(v)$ ;
- 5) ввести в местозаполнители графической области имя переменной –  $v$ , имя функции -  $Q(v)$ ;
- 6) активизировать диалоговое окно Formatting Currently Selected X-Y Plot, на вкладке Labels создать заголовок графика Зависимость расхода топлива от скорости автомобиля, заголовок оси X – скорость движения автомобиля  $v$  (км/ч), заголовок оси Y – расход бензина  $Q(v)$  (л);

7) нажать кнопку *Применить* и оценить полученный результат (рисунок 51).

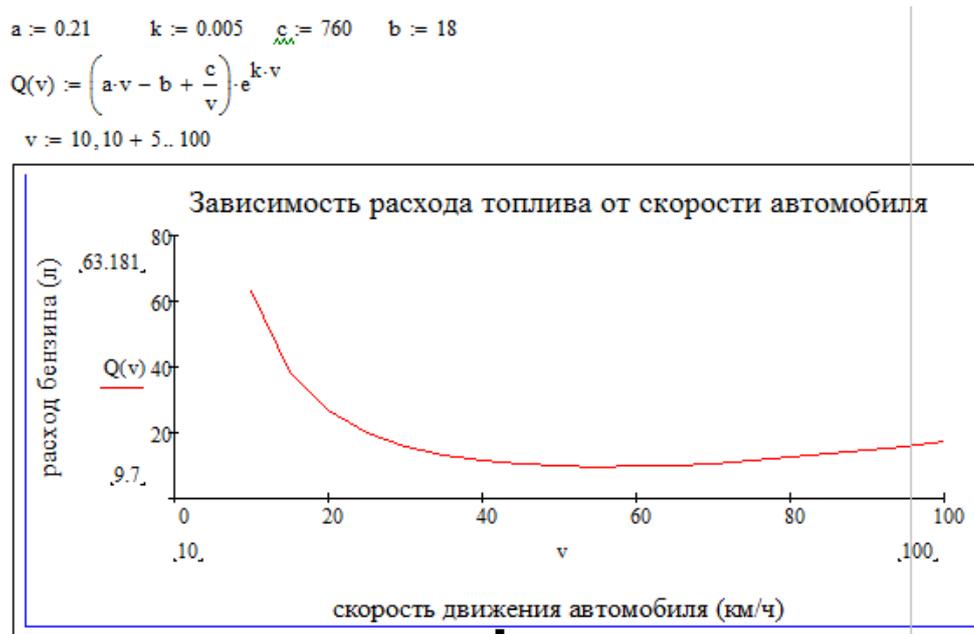


Рисунок 51 – Графическая зависимость расхода топлива от скорости движения автомобиля

Нужно отметить, что в данном построении на оси X достаточно малая цена делений, что не дает нам более подробного представления обо всех значениях скоростей автомобиля. Это связано с тем, что по умолчанию в настройках форматирования графика активизирован флажок Autogrid, который автоматически размечает шкалу метками, в данном случае отмечено 5 меток, соответствующих значениям скоростей – 20, 40, 60, 80 и 100. Для того чтобы разместить на оси X все значения скоростей, необходимо подсчитать количество (k) различных значений скоростей развиваемых автомобилем на данном участке пути:  $k = \frac{v_{\max} - v_{\min}}{5} = \frac{100 - 10}{5} = 18$ .

Для изменения разметки шкалы по оси X необходимо:

1) в диалоговом окне *Formatting Currently Selected X-Y Plot* на вкладке *X-Y Axes* в группе флажков *X-Axes* снять флажок *Autogrid* (рисунок 52), в поле *Number of grids* ввести значение 18 (число меток на оси X);

2) нажать кнопку *Применить* и оценить полученный результат (рисунок 52).

Следует обратить внимание, что по графику можно определить минимальное и максимальное значения расхода топлива, они являются границами изменения значения функции  $Q$  и расположены по оси Y слева:  $Q_{\min}=9.7$  л.,  $Q_{\max}=63.181$  л. Целесообразно эти точки на графике пометить, для чего необходимо определить при каких значениях скоростей функция расхода топлива принимает эти значения. По графику нетрудно заметить, что максимальный расход топлива возникает, когда скорость очень мала, минимальный расход то-

плива в контексте данной задачи возникает при некотором оптимальном значении (экстремум функции) скорости в промежутке [50;60].

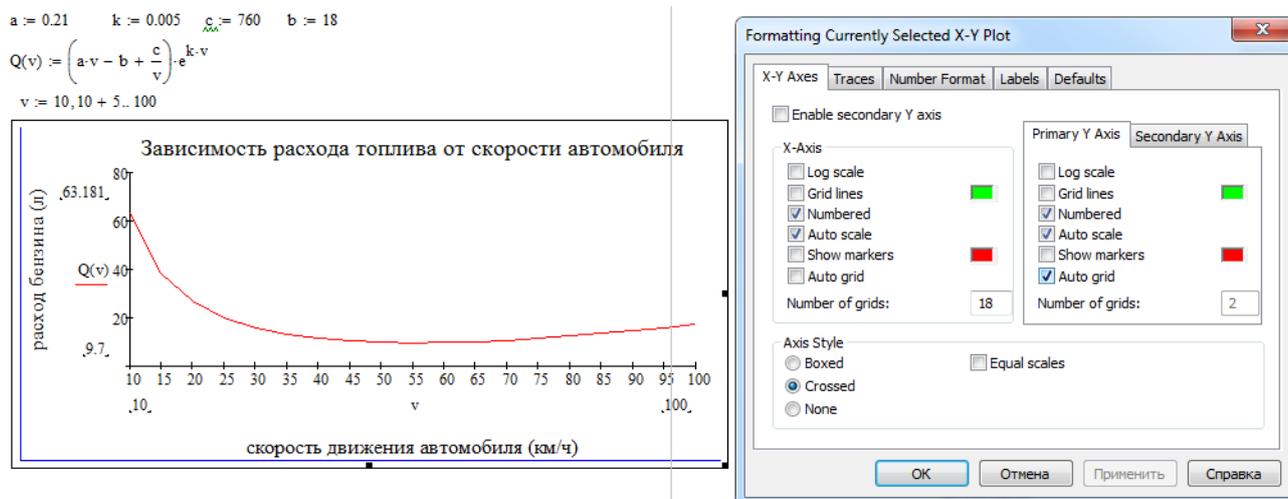


Рисунок 52 – Вид графической области с измененной шкалой деления по оси X

Для определения значений скоростей, при которых расход бензина минимальный и максимальный воспользуемся встроенными функциями среды MathCAD, которые находятся в категории Solving (Решение) библиотеки функций и предназначены для решения задач оптимизации:

$$\begin{aligned} & \text{minimize}(f, \text{var1}, \text{var2} \dots), \\ & \text{maximize}(f, \text{var1}, \text{var2} \dots). \end{aligned}$$

Функция `minimize` возвращает значения `var1`, `var2` и т.д., удовлетворяющих условиям, заданным в вычислительном блоке, при которых значение функции `f` является минимальным. Результатом функции `minimize` будет скалярное значение, если внутри функции указана одна переменная, в противном случае результатом выполнения функции будет вектор значений.

Функция `maximize` возвращает значения `var1`, `var2` и т.д., удовлетворяющих условиям, заданным в вычислительном блоке, при которых значение функции `f` является максимальным. Результатом функции `maximize` будет скалярное значение, если внутри функции указана одна переменная, в противном случае результатом выполнения функции будет вектор значений.

Каждая из выше рассмотренных функций используется в специальном вычислительном блоке, который начинается ключевым словом `Given` (Дано), внутри которого описывается задача. Внутри данного блока используется логический оператор равенства `=` (таблица 5).

Вычислительный блок использует итерационные методы при решении задачи, поэтому необходимо задавать начальные приближения для значений переменных, относительно которых осуществляется решение.

Формат использования вычислительного блока `Given`:

{ начальное значение переменной (переменных)  
 Given  
 { уравнения и/или ограничения  
 решающая функция

В качестве решающей функции могут быть использованы выше описанные функции `minimize` и `maximize`, а также встроенные функции `find` и `miner` также из категории Solving (Решение).

Формат функции `find`:

`Find(var1, var2...)`, функция возвращает значения переменных `var1`, `var2` и т.д. в виде вектора, являющегося точным решением системы уравнений в блоке `Given`; возвращает скалярное значение, являющееся решением уравнения в блоке `Given`, если функция содержит одну переменную.

Вычислительный блок не может содержать внутри себя:

- ранжированные переменные;
- ограничения, содержащие знак «не равно»  $\neq$ ;
- оператор присваивания `:=`;
- другие вычислительные блоки.

Для нахождения скорости, при которой возникает наибольший расход топлива, в качестве начального значения переменной  $v$  следует взять заведомо большее значение на участке монотонности функции. Для нахождения скорости, при которой возникает наименьший расход топлива, в качестве начального значения переменной  $v$  следует взять заведомо меньшее значение. Для оформления задачи необходимо:

- 1) установить курсор позиционирования ниже графической зависимости;
- 2) присвоить начальному значению переменной  $v$  для нахождения значения скорости, при которой бензин расходуется минимально, например 10;
- 3) ниже задать ключевое слово `Given`;
- 4) ниже или правее присвоить функции  $Q(v)$  значение 9.7;
- 5) ниже определить переменную `rez_min`, которой следует присвоить значение функции `minimize(Q,v)`;
- 6) с помощью оператора результата получить значение `rez_min` (рисунок 53); аналогично определить значение переменной `rez_max` (рисунок 54).

**Замечание:** данный вычислительный блок используется также при решении систем уравнений и неравенств произвольного вида.

Для того, чтобы отметить на графике зависимости точки наименьшего и наибольшего потребления топлива следует:

- 1) активизировать графическую область, установить уголкового курсор после имени переменной  $v$ , с помощью запятой добавить два местозаполнителя и ввести значения 55.126 и 10;
- 2) установить уголкового курсор после имени функции  $Q(v)$ , с помощью запятой добавить два местозаполнителя и ввести обозначения значений функции  $Q$  от найденных значений скоростей, т.е.  $Q(55.126)$  и  $Q(10)$ ;

```

v := 10
Given
Q(v) = 9.7

rez_min := minimize(Q, v)

rez_min = 55.126

```

```

v := 40
Given
Q(v) = 63.181

rez_min := maximize(Q, v)

rez_min = 10

```

Рисунок 53 – Нахождение значения скорости, при которой топливо расходуется минимально

Рисунок 54 – Нахождение значения скорости, при которой топливо расходуется максимально

3) вызвать диалоговое окно форматирования графика Formatting Currently Selected X-Y Plot, открыть вкладку Traces;

4) во второй записи trace2 в поле Symbol выбрать крестик, в поле Type выбрать points, в поле Color выбрать любой цвет, отличный от основного графика, например синий;

5) в третьей записи trace3 в поле Symbol выбрать закрашенный кружок, в поле Type выбрать points, в поле Color выбрать любой цвет, отличный от основного графика и линии trace2, например зеленый;

6) нажать кнопку *Применить* и оценить результат (рисунок 55);

7) закрыть окно форматирования.



Рисунок 55 – Вид графической зависимости расхода топлива от скорости автомобиля с отметками скоростей с наименьшим и наибольшим расходом

*Пример 10.* Табулирование функции одной переменной  $y=f(x)$  на отрезке  $[a;b]$  с шагом  $h$ .

Рассмотрим общую постановку задачи. Заданный отрезок разбивается на  $n$  частей с шагом  $h$ , после чего получится совокупность точек, указанных на рисунке 56, которая называется равномерной сеткой. Сетка называется равномерной в том случае, если шаг разбиения является постоянным.

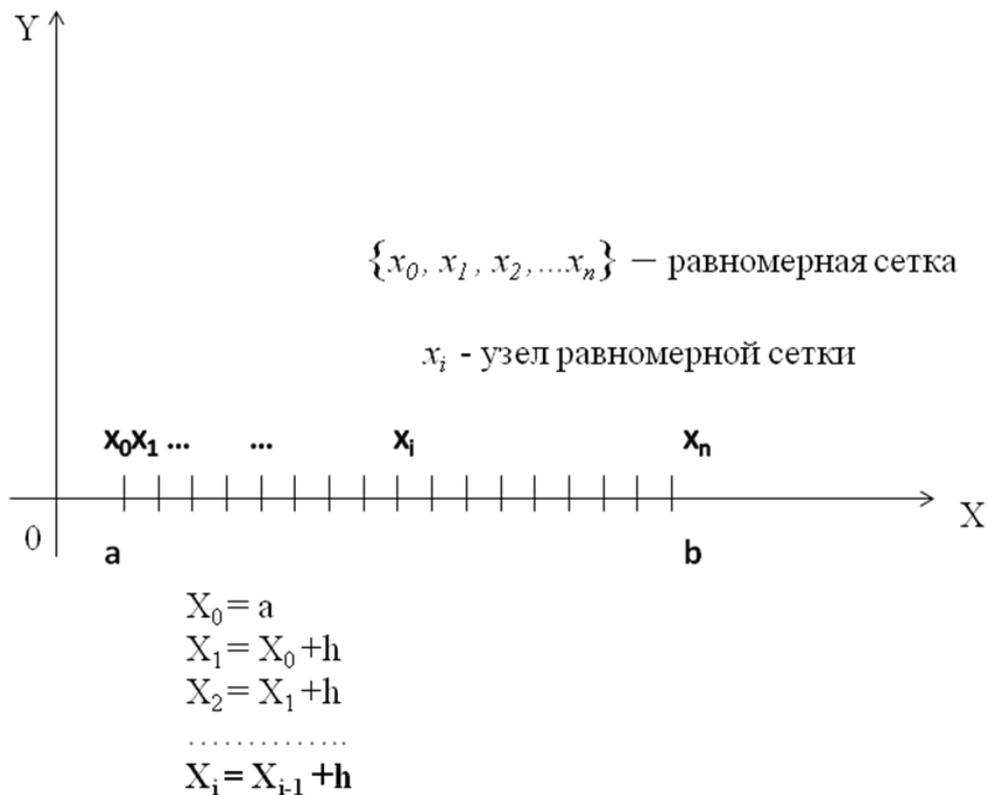


Рисунок 56 – Общая постановка задачи о табулировании функции одной переменной

Каждая из точек  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$  называется узлом равномерной сетки. Для решения задачи необходимо найти значения заданной функции в каждом узле получившейся совокупности точек и представить их в виде таблицы. На рисунке 56 показаны формулы, отражающие последовательный поиск значений точек разбиения, после чего представлена обобщенная формула нахождения некоторой точки  $x_i$ . Такая формула называется рекурсивной.

Конкретизируем постановку задачи: на отрезке  $[0.2; 10]$  протабулировать функцию  $y(x) = \frac{1}{x} - 3 \frac{\sin(3 \cdot x)}{x}$  с шагом  $h=0.5$ . Решение данной задачи в среде MathCAD является очень простым, наглядным и быстрым. Необходимо выполнить следующие действия:

- 1) установить курсор позиционирования в место вставки функции;
- 2) определить на рабочем листе пользовательскую функцию  $y(x)$ , согласно условию задачи;
- 3) с помощью ранжированной переменной задать диапазон изменения переменной  $x$  с учетом указанного шага;

4) ниже указать имя переменной и вызвать оператор результата, после чего в рабочей области появится таблица значений переменной на указанном отрезке; при активизации таблицы в не появляется полоса прокрутки для просмотра всех значений;

5) правее указать обобщение к заданной функции по имени и вставить оператор результата (=), после чего в рабочей области появится таблица значений функции с полосой прокрутки;

6) ниже ранжированной переменной вставить шаблон декартова графика;

7) заполнить шаблон графической области и щелкнуть указателем мыши вне области графика;

8) вызвать окно форматирования графика и установить следующие параметры: на вкладке X-Y Axes параметр пересечения осей Crossed, на вкладке Traces в записи trace1 установить в поле Type тип линии points, в поле Symbol Weight выбрать ширину точки 2 (рисунок 57);

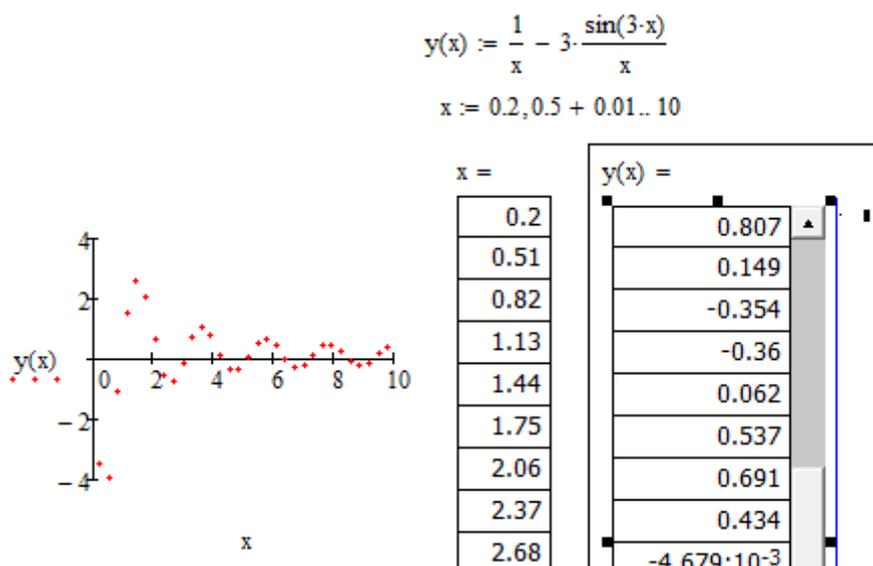


Рисунок 57 – Реализация решения задачи о табулировании функции в рабочей области MathCAD

9) щелкнуть по кнопке *Применить* и оценить результат.

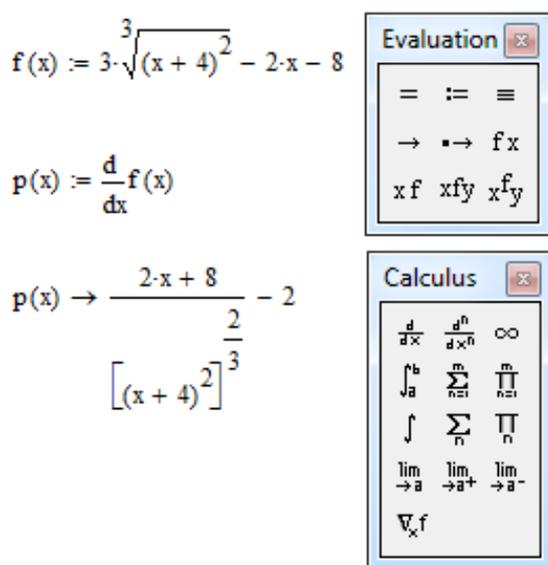
*Пример 11.* Исследовать поведение графика функции с помощью первой производной, сравнить полученные результаты путем построения графика заданной функции:

$$f(x) := 3 \cdot \sqrt[3]{(x+4)^2} - 2 \cdot x - 8$$

Для нахождения производной первого порядка следует использовать оператор дифференцирования с панели инструментов Calculus (Приложение В). Для нахождения критических точек необходимо использовать вычислительный блок Given, внутри которого применить встроенную функцию Find.

Для решения данной задачи необходимо выполнить действия:

- 1) на рабочем листе определить с помощью присваивания пользовательскую функцию  $f(x)$  согласно условию задачи;
- 2) ниже или правее задать идентификатор первой производной, например,  $p(x)$ , после чего вставить оператор присваивания;
- 3) справа от оператора присваивания в местозаполнитель вставить шаблон оператора Derivative (Производная) с панели Calculus; правила заполнения указаны в таблице В.2 Приложения В;
- 4) ниже поместить обращение к функции первой производной по ее имени и вставить оператор символьного вывода  с панели инструментов Evaluation (Выражения); оценить полученный результат (рисунок 58);



$$f(x) := 3 \cdot \sqrt[3]{(x+4)^2} - 2x - 8$$

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

$$p(x) \rightarrow \frac{2-x+8}{[(x+4)^2]^{\frac{2}{3}}} - 2$$

Рисунок 58 – Нахождение первой производной функции  $f(x)$  (пример 11)

- 5) ниже разместить вычислительный блок Given для отыскания критических точек; задать внутри блока условие равенства производной нулю с помощью логического оператора Равно (таблица 5), т.е.  $p(x)=0$ ;
- 6) ниже вставить обращение к функции Find для отыскания значения  $x$ , при котором производная обращается в нуль, после чего вставить оператор символьного вывода;
- 7) щелкнуть кнопкой мыши вне области функции Find (рисунок 59);
- 8) вычислить значение функции  $f(x)$  в точке  $-3$ , а также в точке  $-4$ , поскольку в этой точке производная не существует ( $x=-4$  обращает знаменатель формулы производной в нуль) (рисунок 59);
- 9) определить существование экстремумов функции  $f(x)$  с помощью графика производной; для этого построить график функции  $p(x)$ ;
- 10) с помощью инструментов увеличения и трассировки проанализировать, как меняет свой знак производная при переходе через найденные точки (рисунок 60).

Given

$$p(x) = 0$$

$$\text{Find}(x) \rightarrow -3$$

$$f(-3) = 1$$

$$f(-4) = 0$$

Рисунок 59 – Нахождение критических точек (пример 11)

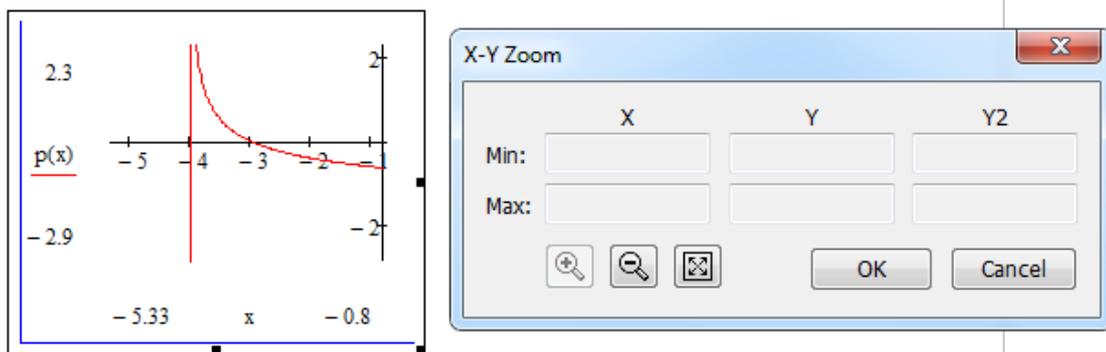


Рисунок 60 – Исследование графика производной с помощью увеличения

Как видно по графику при переходе через точку  $x = -4$  производная  $f'(x)$  меняет знак с « $\leftarrow$ » на « $\rightarrow$ », следовательно,  $x = -4$  – точка минимума функции. При переходе через точку  $x = -3$  производная  $f'(x)$  меняет свой знак с « $\rightarrow$ » на « $\leftarrow$ », значит,  $x = -3$  – точка максимума функции.

Таким образом, функция убывает на промежутках  $(-\infty, -4)$  и  $[-3, +\infty)$ , возрастает на промежутке  $(-4, -3]$ . Проследим поведение функции  $f(x)$  по графику (рисунки 61, 62).

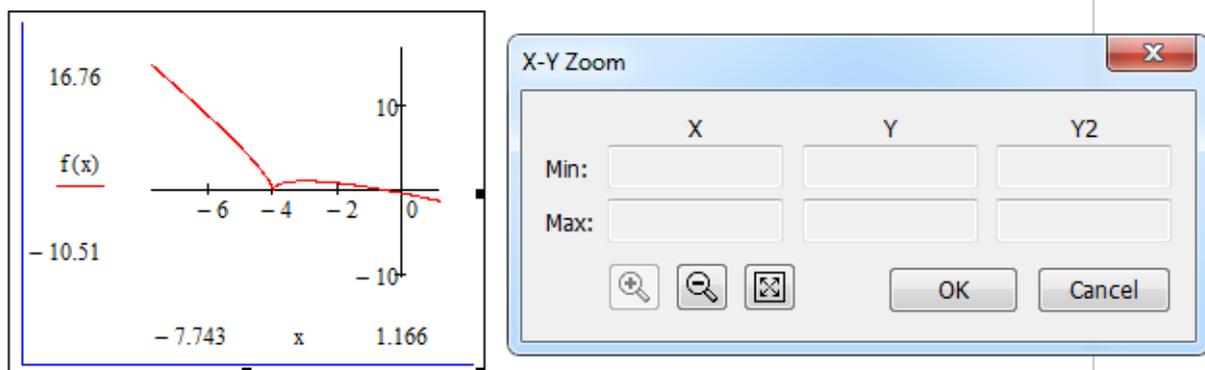


Рисунок 61 – График функции  $f(x)$  (пример 11)

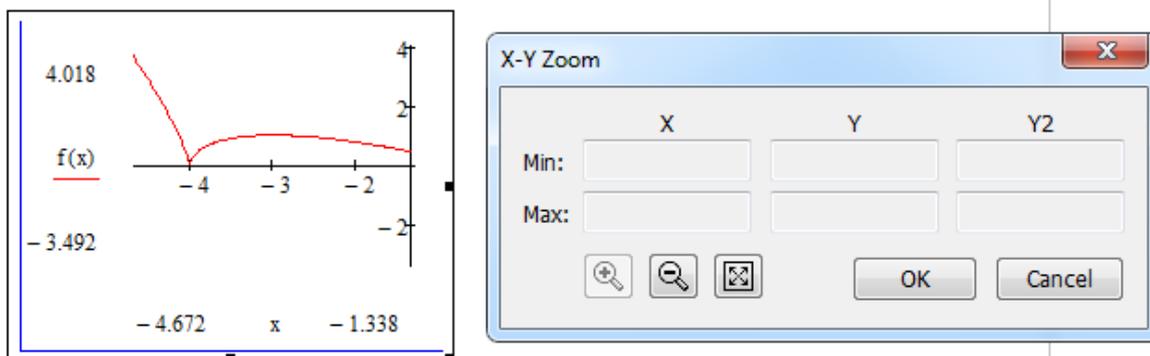


Рисунок 62 – График функции  $f(x)$  после увеличения (пример 11)

### 3.5 Построение графиков в полярной системе координат

В полярной системе координат любая точка определяется двумя координатами  $R$  и  $\varphi$ , где  $R$  – полярный радиус, а  $\varphi$  – полярный угол точки.

Также как и для декартового графика, в среде MathCAD предусматривается два способа построения полярного графика функции:

- быстрое построение графика (построение без задания переменной диапазона  $\varphi$ );
- построение с предварительным заданием переменной диапазона (ранжированной переменной). При таком построении пользователь сам указывает границы изменения переменной  $\varphi$  (имя переменной может быть любое), учитывая область определения функции и приоритетность расположения вычислительных областей.

Для вставки полярного графика первым способом необходимо:

- 1) на рабочем листе MathCAD задать функцию, например  $r(t)=1-\cos(t)$ ;
- 2) установить курсор для позиционирования ниже или правее определения функции и щелкнуть по пиктограмме Polar Plot (таблица 7), после чего в документ вставится шаблон полярного графика, изображенный на рисунке 63; шаблон графика представляет собой окружность с двумя местозаполнителями для ввода данных (пустые маркеры);
- 3) ввести в нижний местозаполнитель имя переменной  $t$ , от которой зависит рассматриваемая функция, в боковой левой местозаполнитель ввести имя функции  $r(t)$  (рисунок 64);
- 4) щелкнуть указателем мыши вне создаваемой графической области или нажать на клавишу Enter, после чего отобразится график (рисунок 59).

Для построения полярного графика вторым способом следует предварительно задать диапазон ранжированной переменной, согласно формату ее формирования.

$$r(t) := 1 - \cos(t)$$

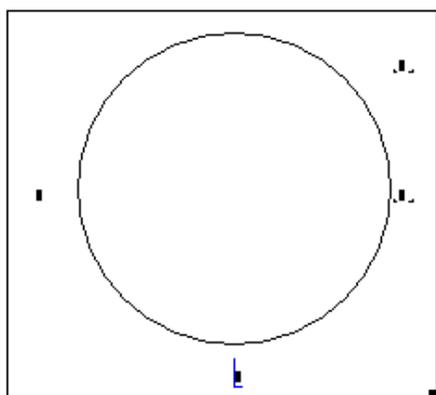


Рисунок 63 – Шаблон полярного графика

$$r(t) := 1 - \cos(t)$$

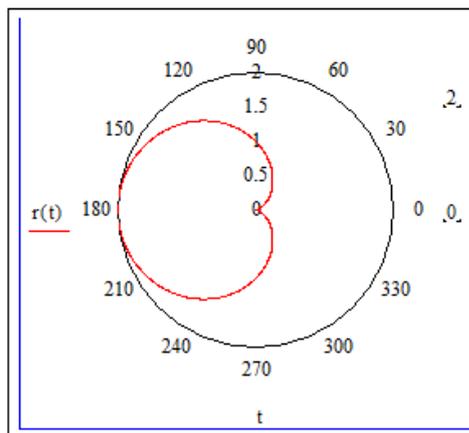


Рисунок 64 – Вид полярного графика без указания границ изменения переменной

На рисунке 65 представлены примеры полярных графиков с указанием границ изменения переменной. В первом случае функция задана предварительно, во втором – выражение функции указано непосредственно в местозаполнителе шаблона полярного графика.

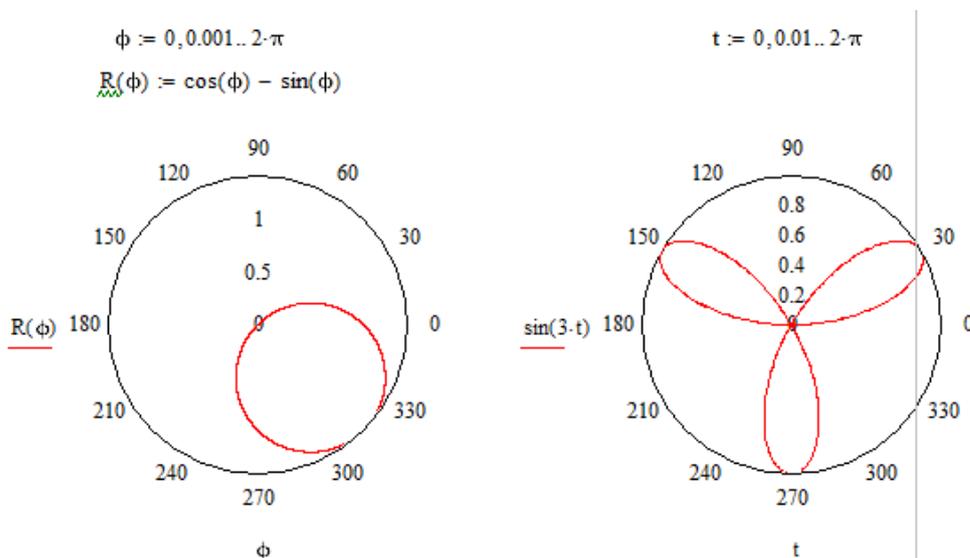


Рисунок 65 – Примеры полярных графиков с заданием границ изменения переменных

Аналогично построению декартовых графиков в одной графической области можно создавать несколько полярных графиков, соблюдая те же правила. Примеры таких построений показаны на рисунке 66.

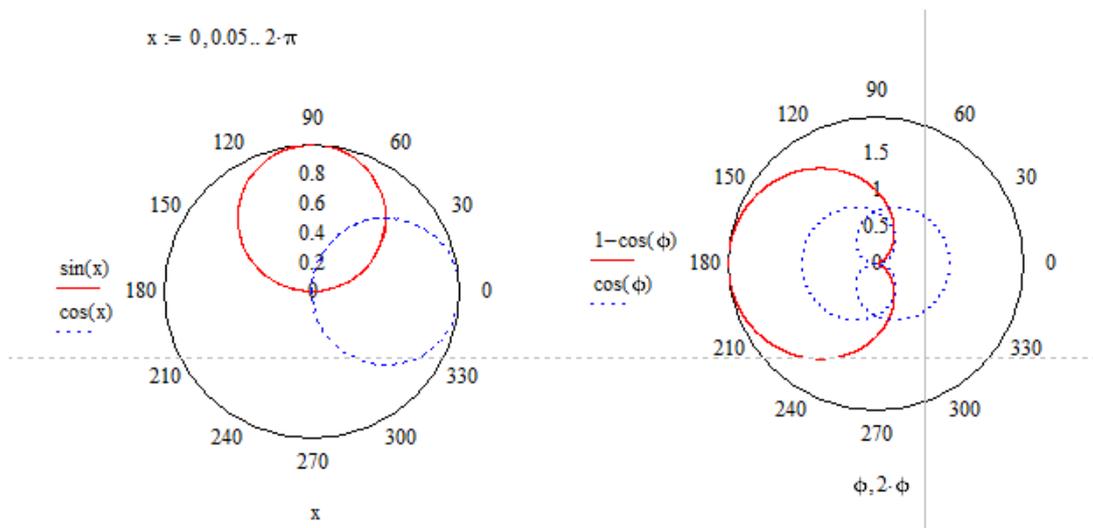


Рисунок 66 – Примеры построения нескольких полярных графиков в одной области

Необходимо отметить, что все, что было ранее сказано о форматировании декартовых графиков актуально и для полярных графиков. Имеются незначительные различия (рисунок 67):

- при форматировании полярного графика на вкладке Labels возможно указать только его общий заголовок;
- название вкладки X-Y Axes замещается названием Polar Axes (Полярные оси), названия осей X-Axes и Y Axes соответственно замещаются на Radial (Радиальный) Angular (Угловой);

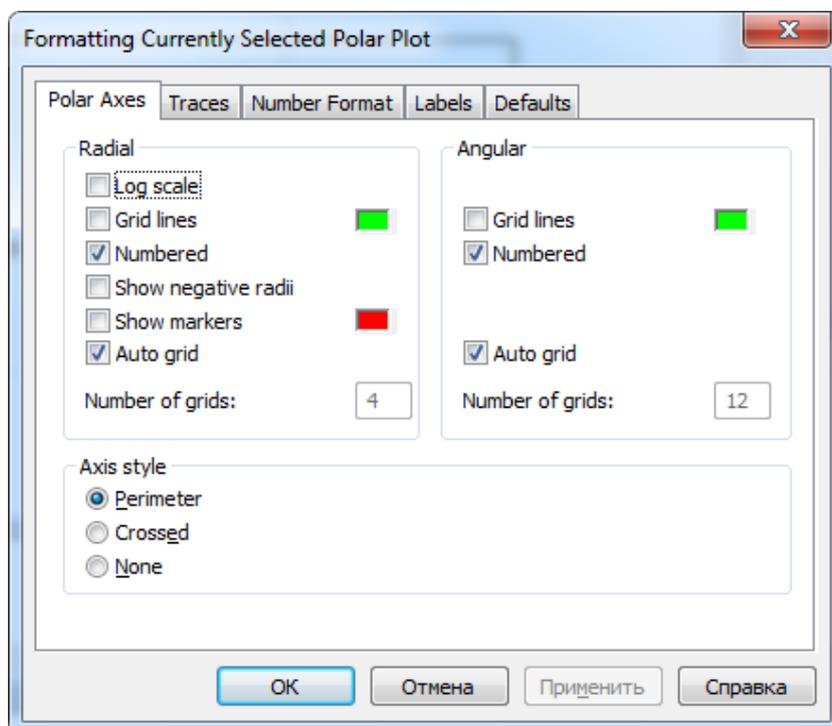


Рисунок 67 – Диалоговое окно Formatting Currently Selected Polar Plot (Форматирование выбранного полярного графика)

– список параметров вкладки Polar Axes имеет некоторые несущественные отличия, заключающиеся в отсутствии некоторых параметров у оси Angular (рисунок 67).

### 3.6 Исследование графиков

Для исследования графиков в среде MathCAD предусмотрено два инструмента:

- Zoom (Увеличение);
- Trace (Трассировка).

Оба инструмента активизируются нажатием одноименных пиктограмм на панели инструментов Graph (таблица 7). Использование данных инструментов применимо к декартовым и полярным графическим областям функций одной переменной и возможно в случае, когда график активизирован (выделен).

Следует отметить, что данные инструменты полезны при исследовании сложных участков графиков, для исследования поведения функции на очень малых участках, где требуется различное масштабирование. Они используются также при решении нелинейных уравнений итерационными методами на этапе отделения корней.

Для активизации данных инструментов можно использовать два способа:

*1 способ:*

- 1) выделить графическую область;
- 2) щелкнуть по пиктограмме Zoom/Trace на панели Graph, после чего появится соответствующее диалоговое окно (рисунок 68).

*2 способ:*

- 1) щелчком правой кнопки мыши вызвать контекстное меню графической области;
- 2) в списке команд выбрать Zoom/Trace, после чего появится соответствующее диалоговое окно (рисунок 68).

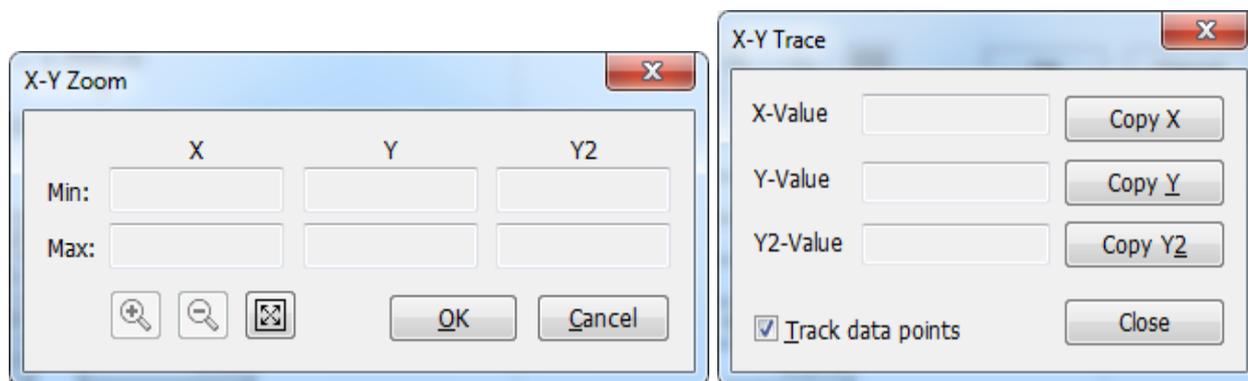


Рисунок 68 – Диалоговые окна исследования графика X-Y Zoom (Увеличение) и X-Y Trace (Трассировка)

Рассмотрим использование инструментов исследования на примере.

*Пример 12.* Определить количество корней уравнения  $f(x)=0$ , принадлежащих отрезку  $[0;7]$  и найти пределы изоляции этих корней, если:

$$f(x) := \frac{1}{x^3} - \frac{7 \cdot \sin(2 \cdot x)}{x}$$

Для решения данной задачи необходимо выполнить следующие действия:

1) построить путем быстрого построения график заданной функции;  
 2) выполнить необходимую настройку форматирования - установить пересечение осей, при желании установить дополнительные параметры форматирования, например заголовков графической области или осей, ширину, тип, цвет линии, количество делений на осях и прочее; возможный вариант графика показан на рисунке 69;

3) закрыть окно форматирования;

4) активизировать график функции;

5) одним из двух способов вызвать окно увеличения X-Y Zoom и для использования оно должен быть активным (строка заголовка диалогового окна должна быть голубого цвета);

6) для увеличения участка графика, расположенного на отрезке  $[0;7]$ , мысленно очертим прямоугольником этот участок немного с избытком, поместим указатель мыши в левый верхний угол мысленно представленного прямоугольника, удерживая левую кнопку мыши, прочертим на графике этот прямоугольник, он отобразится пунктирной линией (рисунок 70); в окне X-Y Zoom в полях Min и Max отображаются минимальные и максимальные значения для  $x$  и  $y$  выделенной области, вручную ввести эти значения в полях диалогового окна нельзя;

$$f(x) := \frac{1}{x^3} - \frac{7 \cdot \sin(2 \cdot x)}{x}$$

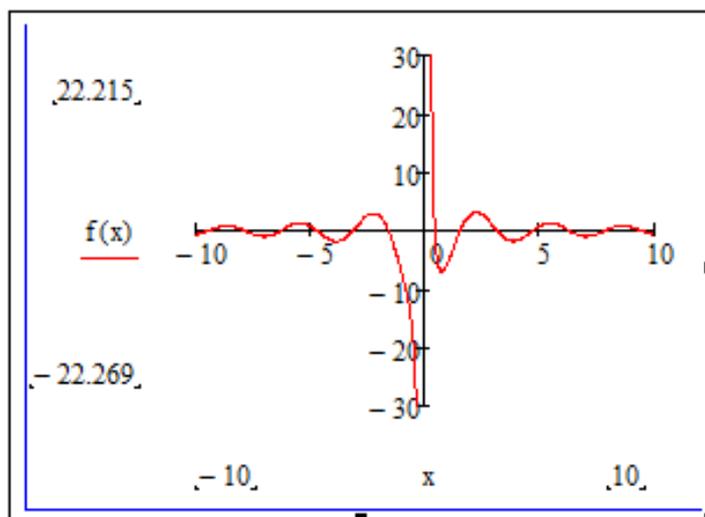


Рисунок 69 – Вид декартова графика функции

7) в диалоговом окне X-Y Zoom нажать кнопку с изображением увеличительного стекла со знаком «плюс» (рисунок 71), которая выполняет однократное увеличение графика согласно выделенному участку; если выделенная область оказалась ошибочной, то следует нажать кнопку с изображением увеличительного стекла со знаком «минус», которая возвращает предыдущее состояние графика, т.е. отменяет одно увеличение; вернуть исходный вид графика можно с помощью кнопки Full View (кнопка с изображением пересекающихся стрелок);

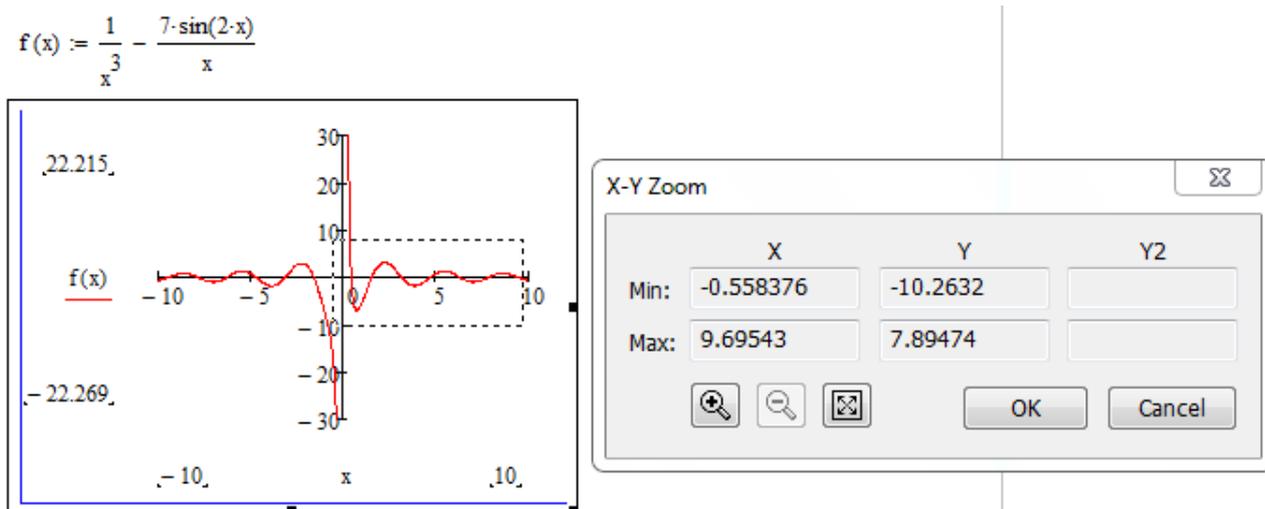


Рисунок 70 – Вид выделенного участка графика для его последующего увеличения

8) на рисунке 66 видно, что на заданном отрезке имеется 7 пересечений графика с осью абсцисс, т.е. уравнение  $f(x)=0$  имеет 7 корней; не закрывая окно X-Y Zoom вызвать окно форматирования графика для изменения шкалы деления на оси X и установить следующие параметры: снять флажок Auto grid, установить флажок Show markers, в поле Number of grids ввести значение 6;

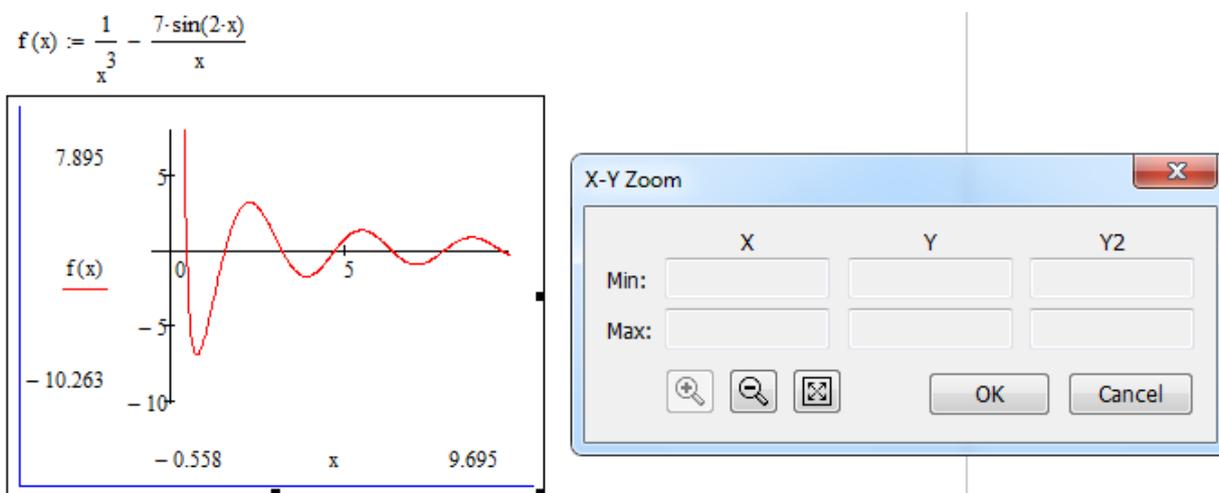


Рисунок 71 – Вид графика после однократного увеличения

9) нажать кнопку *Применить* и оценить результат (рисунок 72);

10) по графику видно (рисунок 72), что на оси X появились дополнительные деления с обозначенными значениями, однако установленный формат вывода этих значений не позволяет комфортно просматривать их на данном участке; для изменения формата в окне форматирования на вкладке Number Format в поле Number of decimal places установить количество знаков после запятой, равное 2;

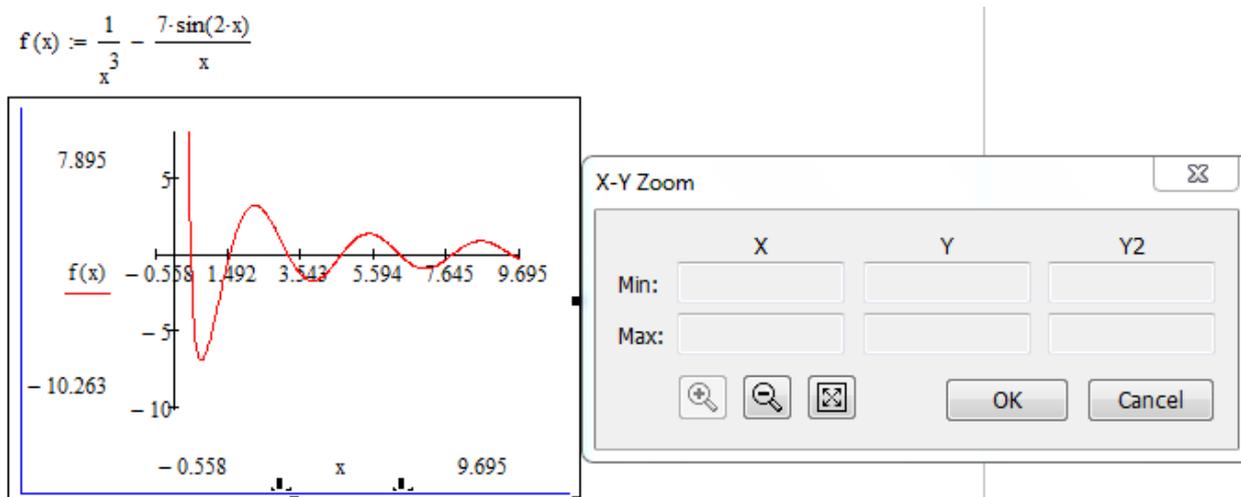


Рисунок 72 – Вид графика с измененной шкалой на оси абсцисс

11) Нажать кнопку *Применить* и оценить результат (рисунок 73);

12) закрыть окно форматирования графика; для некоторых значений корней возможно уже по графику (рисунок 73) определить интервалы изоляции этих корней, например, среди таких интервалов [0;1.15], [1.15;2.86], [2.86;4.57]; для остальных корней следует провести еще серию увеличений;

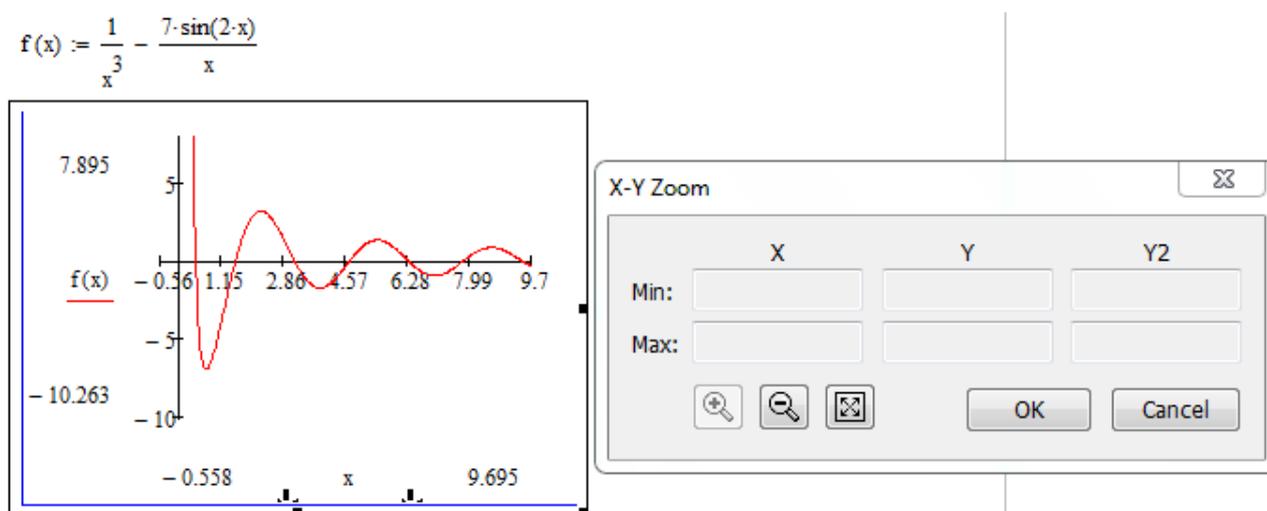


Рисунок 73 – Вид графика с измененным форматом вывода числовых значений

13) аналогично действиям 6), 7) выполним увеличение следующего участка (рисунок 74); после увеличения график принимает вид (рисунок 75); по графику можно определить следующие промежутки изоляции корней: [4.13;5.05], [5.98;6.91], [7.84;8.77], [6.91;8.77].

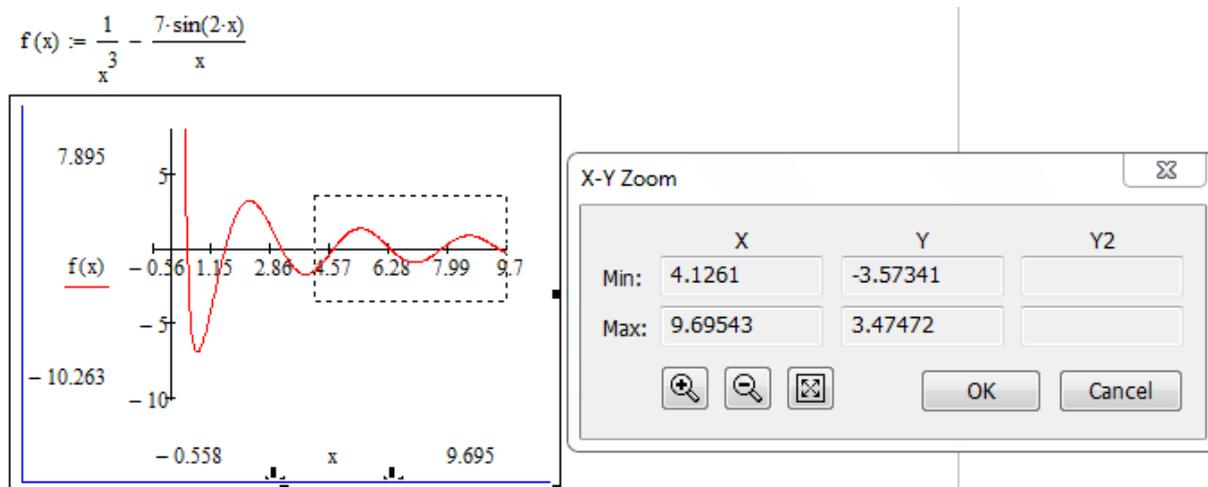


Рисунок 74 - Вид выделенного участка графика для его последующего увеличения

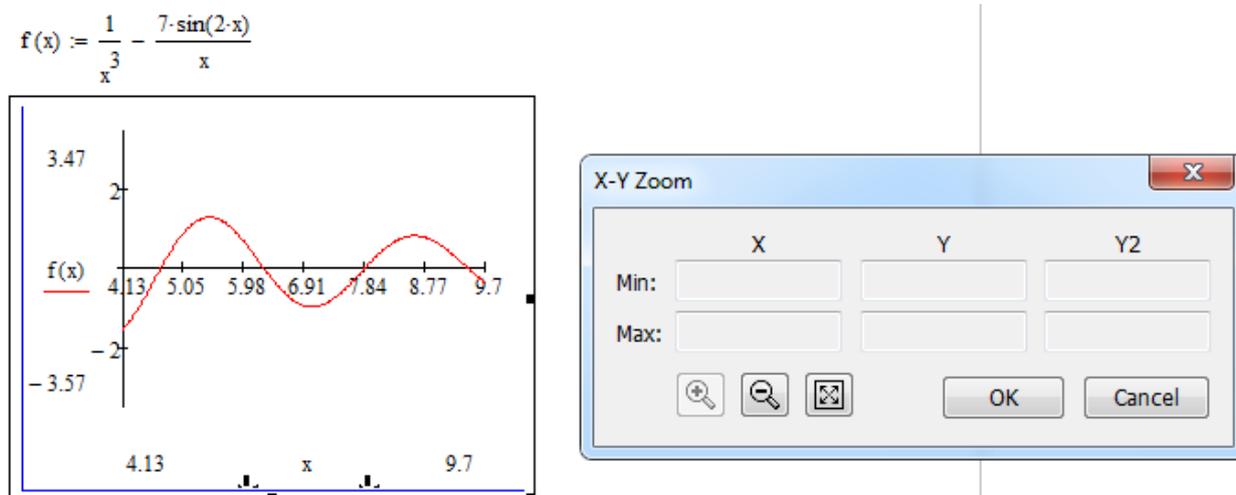


Рисунок 75 - Вид графика после второго увеличения

Найдем приблизительно значения корней уравнения. Для этого следует использовать инструмент Trase:

1) не закрывая окна X-Y Zoom активизировать любым способом окно Trase (для использования окно должно быть активным, т.е. строка заголовка диалогового окна должна быть голубого цвета);

2) левой кнопкой мыши щелкнуть в место пересечения графика и оси абсцисс, стараясь как можно точнее попасть в точку, после чего в области графика отобразятся пунктирные пересекающиеся линии (рисунок 76); в диалоговом

окне Trace в полях X-Value и Y- Value отображаются координаты отмеченной на графике точки пересечения; на рисунке 71 показано приблизительное значение корня, полученное путем графического отделения,  $x_7=7.84$ ;

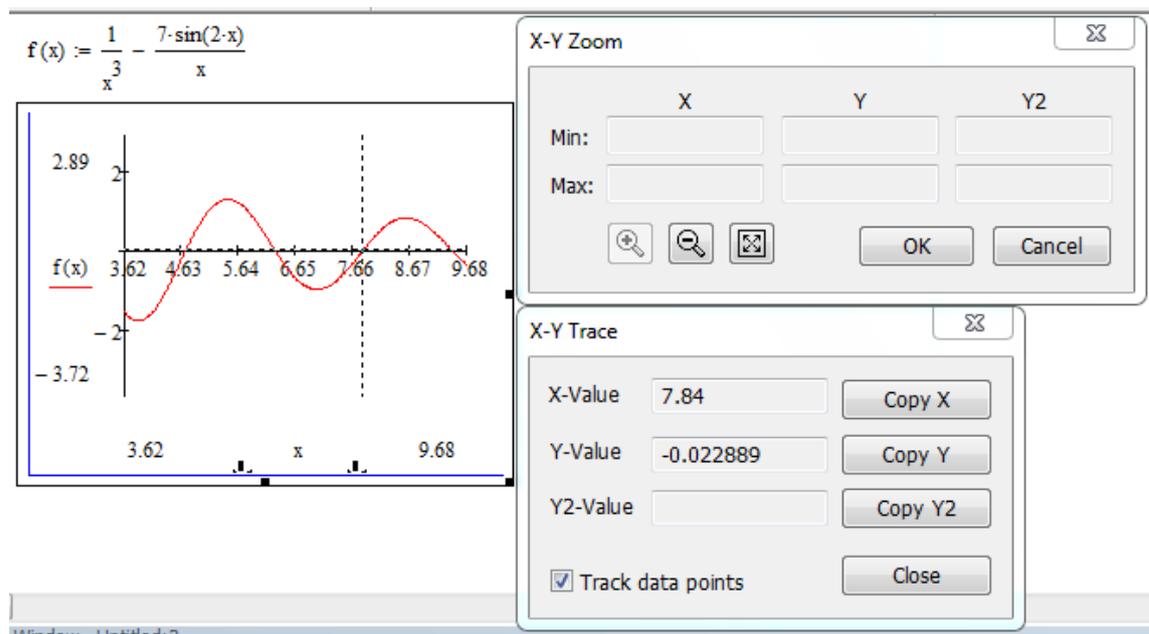


Рисунок 76 – Вид графика после однократной трассировки

следует отметить, что значения координат точек можно отслеживать в окне Trace, если перемещать указатель мыши на графике, удерживая левую кнопку;

3) аналогично действию 2) отделить графическим способом путем трассировки значения остальных корней:  $x_2=9.42$ ,  $x_3=6.28$ ,  $x_4=4.7$ ,  $x_5=3.18$ ,  $x_6=0.44$ ; при необходимости следует увеличивать нужные участки графика;

4) закрыть окна исследования.

### 3.7 Вопросы для самоконтроля

1. Какая панель служит для формирования графических областей в среде MathCAD?

2. Назовите основные элементы панели Graph. Опишите их назначение.

3. Опишите классификацию графических областей в системе MathCAD.

4. Является ли данная классификация жесткой?

5. Какие способы построения декартовых графиков существуют в среде MathCAD?

6. Опишите обобщенный алгоритм быстрого построения графика в декартовой системе координат. Какие элементы содержит шаблон графической области?

7. В чем особенность построения декартова графика с помощью ранжированной переменной?

8. Как избежать при построении грубой искаженной формы графика?

9. Дайте сравнительный анализ способов построения графиков.
10. Всегда ли указанные границы изменения переменной совпадают с границами, отображенными при построении? Почему?
11. Опишите алгоритм построения декартова графика какой-либо функции.
12. Каким образом можно отредактировать графическую область?
13. Опишите обобщенный алгоритм построения графиков нескольких функций в одной плоскости.
14. Какие существуют способы построения графиков функций, заданных кусочно?
15. Опишите алгоритм построения графика кусочно-заданной функции с использованием нескольких переменных.
16. Для чего используются кусочно-непрерывные функции?
17. Опишите формат функции if, как работает данная функция?
18. Каким образом используется кусочно-непрерывная функция if для построения графика кусочно-заданной функции?
19. Что представляет собой процесс форматирования графика?
20. Какие параметры составляют форматирование графика?
21. Назовите способы вызова диалогового окна форматирования графика в среде MathCAD.
22. Назовите вкладки окна форматирования графика и кратко охарактеризуйте назначение данных вкладок.
23. Каким образом в графической области отобразить пересечение координатных осей?
24. С помощью каких параметров в графической области можно отобразить асимптоты?
25. Как управлять цветом, стилем, шириной линии графика?
26. Опишите алгоритм создания заголовков графика, осей координат.
27. Каким образом можно изменить шкалу делений на координатной оси? Приведите пример.
28. Возможно ли изменить настройки форматирования, установленные по умолчанию? Каким образом это можно сделать?
29. Каким образом можно управлять форматом вывода числовых значений в графической области?
30. Опишите алгоритм решения задачи о табулировании функции одной переменной в среде MathCAD. Сравните все используемые Вами программные средства для решения данной задачи. Какое программное средство на Ваш взгляд является наиболее оптимальным? Обоснуйте свой ответ.
31. В каких случаях при построении графиков будут полезны встроенные функции minimize и maximize среды MathCAD?
32. Для чего используется вычислительный блок Given?
33. В чем особенности построения графиков в полярной системе координат?

34. Какие способы построения полярных графиков существуют в среде MathCAD?

35. Опишите обобщенный алгоритм одного из способов построения.

36. Что представляет собой шаблон графической области полярного графика? Какие параметры составляют форматирование полярного графика? Имеются ли их отличия от параметров форматирования декартовых графиков? Назовите их.

37. Какие встроенные средства для исследования графиков функций существуют в системе MathCAD? Имеются ли ограничения использования данных средств?

38. Опишите алгоритм использования инструмента увеличения. В каких случаях целесообразно его использовать?

39. Опишите алгоритм трассировки графика функции. В каких случаях инструмент трассировки необходим?

### 3.8 Упражнения для самостоятельной работы

1. Определить векторы  $d$ ,  $S$  и  $R$  с помощью ранжированной переменной  $i$ . Отобразить графически таблично заданные функции  $S_i(d_i)$  и  $R_i(d_i)$ . Отформатировать график так, чтобы в каждой узловой точке графика функции  $S_i(d_i)$  стоял знак вида  $\square$ , а график функции  $R_i(d_i)$  отобразить в виде гистограммы.

$i$	$d_i$	$S_i$	$R_i$
0	0.5	3.3	2
1	1	5.9	3.9
2	1.5	7	4.5
3	2	6.3	3.7
4	2.5	4.2	1.2

2. Построить декартовы и полярные графики следующих функций:

$$X(\alpha) := \cos(\alpha) \cdot \sin(\alpha)$$

$$Y(\alpha) := 1.5 \cos(\alpha)^2 - 1$$

$$P(\alpha) := \cos(\alpha).$$

Выполнить следующие действия:

1) определить переменную  $\alpha$  как ранжированную на интервале от 0 до  $2 \cdot \pi$  с шагом  $\pi/30$ ;

2) определить по декартову графику координаты любой из точек пересечения графиков  $Y(\alpha)$  и  $P(\alpha)$ ;

3) вычислить значения функций  $X(\alpha)$  и  $Y(\alpha)$  при  $\alpha = \pi/2$ .

3. Построить в разных графических областях графики следующих функций при заданных параметрах  $c=0.5$ ,  $b=2$ :

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

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

Выполнить форматирование графиков: установить пересечение осей, изменить цену шкалы деления по оси X до 6-8 делений, установить формат вывода числовых значений до 2 знаков после запятой, изменить цвет, тип линии графиков.

4. Построить в одной координатной плоскости графики следующих функций при заданных параметрах  $c$  и  $b$  из упражнения 3:

$$f(x) := e^{-c \cdot x} + b \cdot \sin(c \cdot x) \quad f1(x) := \int_c^b f(x) dx$$

$$f2(x) := \frac{d}{dx} f(x) \quad f3(x) := \frac{d^2}{dx^2} f(x)$$

### 3.9 Задачи для самостоятельной работы

1. Построить траекторию движения точки, задаваемую уравнениями  $x(t)=t\sin(t)$ ,  $y(t)=t\cos(t)$ , на промежутке времени  $T=4$ . Начало траектории отметим символом «кружок», конец траектории – символом «крестик».

2. На отрезке  $[x_{min}; x_{max}]$  с шагом  $h$  протабулировать функцию  $y=f(x)$  из таблицы 10. Построить график заданной функции на данном отрезке, установить оптимальные параметры форматирования для комфортного исследования графика. Исследовать график функции на предмет:

- определения значений переменной, при которых функция принимает максимальное и минимальное значения на отрезке  $[x_{min}; x_{max}]$ ;
- отделения корней уравнения  $f(x)=0$ .

Таблиц 10 – Варианты заданий функции  $y=f(x)$  на отрезке  $[x_{min}; x_{max}]$

№	Функция $f(x)$	$x_{min}$	$x_{max}$
1	$x^3 - 13x^2 + 56x - tgx - 83$	3	7
2	$x^4 + 11.4x^3 + 9.53x^2 - 252.84x - 693$	-7	5
3	$\sin^2 x - \cos^2 x - \cos 0.5x$	-5	5
4	$tg^2 x - 4tgx - 5$	2	4.6
5	$\sin 6x - 2\sin 18x + \cos 5x$	1	2
6	$x^4 - 2.4x^3 - 12.57x^2 + 32.212x - 17.7156$	-4	4
7	$\sin 2x + \cos 2x - \sqrt{\left  3 \sin \frac{x}{2} \right }$	0	10
8	$tgx - 4 \cos x$	0.5	10
9	$x^3 - \sqrt[3]{x^2} - 5 + 7 \sin 3x$	-10	10

10	$\frac{e^x}{2(x-1)^2} - 10$	-10	10
11	$\ln 7 \sin x + \sqrt{ x }  + 6 \operatorname{tg} x + 5$	-10	10
12	$\frac{1}{x} - 10 \frac{\sin 3x}{x}$	-10	10
13	$2x + 3 \cos x - 7 \sin 2.5x$	-10	10
14	$x^4 - 2.1x^3 - 13.25x^2 - 3x + 3.43$	-10	10
15	$x^5 + 4x^3 - 10x^2 + 3x + 50$	-10	10

3. Построить график кусочно-заданной функции (таблица 11). Отобразить на графике вертикальные и/или горизонтальные асимптоты в случае наличия разрывов функции. Значения дополнительных параметров определить самостоятельно на рабочем листе.

Таблица 11 - Варианты кусочно-заданных функций

№	Функция $f(x)$
1	$f(x) = \begin{cases} 3\sqrt{ x-1 } - 3.25, & \text{при } x < -1.25 \\ -x, & \text{при } -1.25 \leq x \leq 1.25 \\ 3.25 - 3\sqrt{ 1-x }, & \text{при } x > 1.25 \end{cases}$
2	$f(x) = \begin{cases} \sin^2(x+1), & \text{при } x < -1 \\ -(1 + \cos \pi x), & \text{при } -1 \leq x < 1 \\ \sin^2(x-1), & \text{при } x \geq 1 \end{cases}$
3	$f(x) = \begin{cases} -\cos 5\pi(x-0.2), & \text{при } x < 0.2 \\ 1 - 2 \cos 5\pi(x-.2), & \text{при } 0.2 \leq x < 0.4 \\ 3 & \text{при } x \geq 0.4 \end{cases}$
4	$f(x) = \begin{cases} \sqrt{ x }, & \text{при } x < 0 \\ \sin^2 x + \sqrt{x}, & \text{при } 0 \leq x \leq \pi \\ x^2, & \text{при } x > \pi \end{cases}$
5	$f(x) = \begin{cases} 3 \cdot \cos^2(2x - 16x^2 + 8), & \text{при } x < 0.5 \\ 2 \cdot \sin^2\left(\frac{2x-9}{x^2+8}\right), & \text{при } x \geq 0.5 \end{cases}$
6	$f(x) = \begin{cases}  (x+3)^2 - 12 , & \text{при } x < -2 \\ \sqrt[3]{x+3}, & \text{при } -2 \leq x \leq 2 \\ 4 - 0.5x, & \text{при } x > 2 \end{cases}$

№	Функция $f(x)$
7	$f(x) = \begin{cases} \frac{(x^2 + 1)}{x - 1}, & \text{при } x < -3 \\ \sqrt{x^2 - 9}, & \text{при } -3 \leq x \leq 3 \\ x - 3, & \text{при } x > 3 \end{cases}$
8	$f(x) = \begin{cases} \sin^2 \pi x, & \text{при } x < -1 \\ 0, & \text{при } -1 \leq x \leq 2 \\  \cos x , & \text{при } x > 2 \end{cases}$
9	$f(x) = \begin{cases} x(x + 2), & \text{при } x \leq -2 \\ \sin \pi x, & \text{при } -2 < x \leq 0 \\ x(x + 2), & \text{при } x > 0 \end{cases}$
10	$f(x) = \begin{cases} ce^{\sin(3x-1)} - a \cdot \cos x, & \text{при } x \geq 2.4 \\ be^{\ln x-a }, & \text{при } x \leq -0.15 \\ x, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$
11	$f(x) = \begin{cases} \frac{\alpha\beta}{x - \pi} \cdot e^x; & -1 \leq x \leq 3 \\ \sqrt[x]{\alpha - \alpha^3 \beta \sin x}; & -3 < x \leq -2 \\ \alpha^x - & \text{в остальных случаях} \end{cases}$
12	$f(x) = \begin{cases} \sqrt{ a - e^x \cdot \cos x }, & \text{при } -2 \leq x \leq 5 \\ x^{2.5} - \operatorname{arctg}\left(a - \frac{b}{x}\right)^{\frac{1}{2}}, & \text{при } 5 < x \leq 6 \\ 2,5 & \text{в остальных случаях} \end{cases}$
13	$f(x) = \begin{cases} \frac{a^5 \cdot \sin 1 - x ^{0.3}}{\ln\left \cos \frac{1}{x}\right }, & \text{при } -1,5 \leq x \leq -1 \\ e^{-x+4\pi \operatorname{tg} x}, & \text{при } -5 < x \leq -2 \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$
14	$f(x) = \begin{cases} 2\beta^{0.8} - \ln e^x - \sin^3(x - \pi) , & \text{при } 1 \leq x \leq 1,5 \\ \sqrt{\left \operatorname{arcsin} \frac{x - 2\beta}{\pi} - \alpha^2\right }, & \text{при } 2,5 < x \leq \pi \\ \text{не определено} & \text{в остальных случаях} \end{cases}$

№	Функция $f(x)$
15	$f(x) = \begin{cases} 2\beta^{0.8} - \ln e^x - \sin^3(x - \pi) , & \text{при } 1 \leq x \leq 1,5 \\ \sqrt{\left  \arcsin \frac{x - 2\beta}{\pi} - \alpha^2 \right }, & \text{при } 2,5 < x \leq \pi \\ \text{не определено в остальных случаях} \end{cases}$

4. Исследовать поведение графика функции с помощью первой производной, сравнить полученные результаты путем построения графика заданной функции  $f(x)$ .

№	Функция $f(x)$
1	$f(x) = \frac{12\sqrt[3]{6(x-2)^2}}{x^2 + 8}$
2	$f(x) = 16x^2(x-1)^2$
3	$f(x) = 6x - 6 - 9\sqrt[3]{(x-1)^2}$
4	$f(x) = \sqrt[3]{x^2 + 4x + 3}$
5	$f(x) = \frac{27(x^3 + x^2)}{4}$
6	$f(x) = \frac{-6\sqrt[3]{6(x+3)^2}}{x^2 + 10x + 33}$
7	$f(x) = \frac{-(x+1)^2(x-3)^2}{16}$
8	$f(x) = \frac{-12\sqrt[3]{6(x-1)^2}}{x^2 + 2x + 9}$
9	$f(x) = 2 - \sqrt[3]{x^2 + 3x - 4}$
10	$f(x) = \frac{3\sqrt[3]{6(x-4)^2}}{x^2 - 4x + 12}$
11	$f(x) = 2 + \sqrt[3]{8x(x+2)}$
12	$f(x) = (2x+1)^2(2x-1)^2$
13	$f(x) = 9\sqrt[3]{(x+1)^2} + x$
14	$f(x) = \sqrt[3]{x^2 - 9}$
15	$f(x) = \frac{x(12 - x^2)}{8}$

5. Известны результаты экзамена  $N$  студентов группы. Требуется определить среднюю оценку за экзамен и распределение оценок (количество «пятерок», «четверок», «троек», «двоек»). Полученное распределение представить на диаграмме.

6. Вектора  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  содержат оценки  $N$  студентов группы по трем экзаменационным предметам так, что соответствующие элементы каждого вектора – это оценки одного и того же студента. Требуется определить количество «отличников» (все оценки 5) и «хорошистов» (оценки 4 или 5, но не все 5). Построить сравнительную диаграмму.

## Список использованных источников

1. Алябьева, С.В. MathCAD для студентов: учебный практикум / С.В. Алябьева, Е.П. Борматова, М.В. Данилова, Е.Е. Семенова. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. – 154 с.
2. Васильков, Ю. В. Компьютерные технологии вычислений в математическом моделировании [Текст] : учеб. для вузов / Ю. В. Васильков, Н. Н. Василькова. - М. : Финансы и статистика, 2004. - 256 с.
3. Габдуллина, О. Г. Решение функциональных и вычислительных задач в средах Delphi и MathCAD [Текст]: учеб. пособие для вузов/ О. Г. Габдуллина, О. А. Никонорова, Э. И. Бикмухаметова. – Оренбург : ОГУ, 2005. - 114 с. – ISBN 5-7410-0544-6.
4. Макаров, Е.Г. Инженерные расчеты в MathCAD / Е.Г. Макаров. – СПб: Питер, 2003. – 448 с.
5. Охорзин, В. А. Компьютерное моделирование в системе Mathcad [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. А. Охорзин. - М. : Финансы и статистика, 2006. - 144 с.
6. Плис, А.И. MathCAD. Математический практикум для инженеров и экономистов: Учеб. пособие для вузов / А.И. Плис, Н.А. Сливина.- 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Финансы и статистика, 2003. - 656 с.
7. Ушаков, А.Н. Секреты MathCAD для инженерных и научных расчетов [Текст] / А.Н. Ушаков, Н.Ю. Ушакова. - Оренбург : ОГУ, 2001. - 122 с.

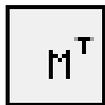
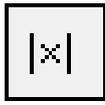
## Приложение А

(обязательное)

### Перечень матричных операторов

Матричные операторы вставляются с помощью соответствующих кнопок с панели инструментов Matrix.

Таблица А.1 - Унарные операции над матрицами и векторами

Название операции	назначение	Комбинация клавиш	Изображение кнопки
Matrix Transpose (Транспонирование матрицы)	возвращает транспонированную матрицу	Ctrl+1	
Inverse (Обращение матрицы)	возвращает обратную матрицу	^	
Determinant (Определитель матрицы/длина вектора)	вычисляет определитель матрицы или длину вектора		
Matrix Column (Столбец матрицы)	выделяет столбец из матрицы	Ctrl+6	

## Приложение Б

(обязательное)

### Перечень встроенных функций системы MathCAD

Таблица Б.1 - Матричные и векторные функции

Формат записи функции	Назначение
rows(A)	возвращает количество строк матрицы;
cols(A)	возвращает количество столбцов матрицы;
max(A)	возвращает максимальный элемент массива;
min(A)	возвращает минимальный элемент массива;
tr(A)	возвращает след матрицы (сумма элементов, стоящих на главной диагонали);
length(x)	возвращает количество элементов в векторе;
last(x)	возвращает номер последнего элемента вектора;
augment(A,B)	позволяет создать массив, полученный путем добавления к массиву A справа массива B (конкатенация массивов с одинаковым количеством строк); список аргументов функции может содержать и более двух массивов;
identity(n)	позволяет создавать единичную матрица заданной размерности;
diag(x)	позволяет создавать матрицу, диагональные элементы которой совпадают с элементами указанного вектора, а остальные – равны 0;
mean(A)	возвращает среднее значение элементов массива;
sort(x)	позволяет упорядочить (сортировка) элементов вектора по возрастанию;
csort(A,n)	осуществляет сортировку матрицы A по элементам n-го столбца (перестановка строк при упорядочении элементов указанного столбца в возрастающем порядке)
rsort(A,n)	осуществляет сортировку матрицы A по элементам n-й строки (перестановка столбцов при упорядочении элементов указанной строки в возрастающем порядке)
reverse(A)	осуществляет перестановку строк массива A в обратном порядке, так что результатом обращения к функциям reverse(sort(x)) будет вектор, элементы которого отсортированы в убывающем порядке;
polyroots(v)	осуществляет поиск корней полинома с коэффициентами, заданными вектором-столбцом v; коэффициенты перечисляются в направлении увеличения степени неизвестной в полиноме, начиная с нулевой.

## Приложение В (обязательное)

### Перечень вычислительных операторов

Вычислительные операторы вставляются с помощью соответствующих кнопок на панели инструментов Calculus.

Таблица В.1 - Операторы суммы и произведения

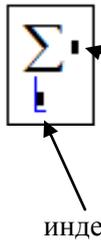
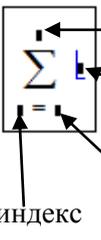
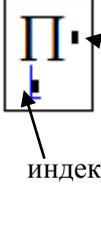
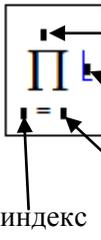
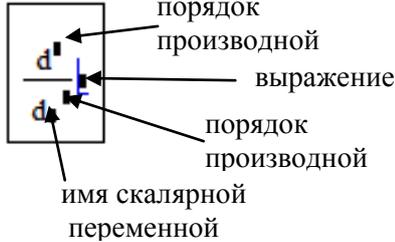
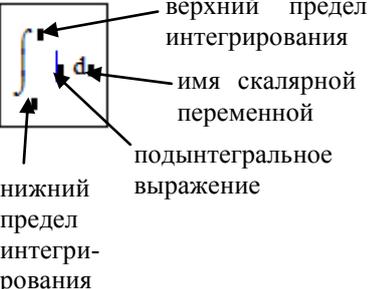
Название операции	примечание	шаблон оператора	изображение кнопки
Range Variable Summation (Диапазон переменной суммирования)	индекс суммирования должен быть определен заранее; индекс – простая переменная, принимающая целые неотрицательные значения;	 <p>арифметическое и/или логическое выражение и/или оператор суммы (произведения)</p> <p>индекс</p>	
Summation (Суммирование)	значения индекса суммирования задаются как элементы оператора	 <p>конечное значение индекса</p> <p>арифметическое и/или логическое выражение и/или оператор суммы (произведения)</p> <p>индекс</p> <p>начальное значение индекса</p>	
Range Variable Iterated Product (Диапазон переменной произведения)	индекс произведения должен быть определен заранее	 <p>арифметическое и/или логическое выражение и/или оператор суммы (произведения)</p> <p>индекс</p>	
Iterated Product (Произведение)	значения индекса произведения задаются как элементы оператора	 <p>конечное значение индекса</p> <p>арифметическое и/или логическое выражение и/или оператор суммы (произведения)</p> <p>индекс</p> <p>начальное значение индекса</p>	

Таблица В.2 - Операторы дифференцирования и интегрирования

Название операции	примечание	шаблон оператора	изображение кнопки
Derivative (Производная)	возвращает значение производной 1-го порядка в точке;	 <p>выражение имя скалярной переменной</p>	
Nth Derivative (n-я производная)	значения индекса суммирования задаются как элементы оператора	 <p>порядок производной выражение порядок производной имя скалярной переменной</p>	
Indefinite Integral (Неопределенный интеграл)	индекс произведения должен быть определен заранее	 <p>имя скалярной переменной подынтегральное выражение</p>	
Definite Integral (Определенный интеграл)	значения индекса произведения задаются как элементы оператора	 <p>верхний предел интегрирования имя скалярной переменной подынтегральное выражение нижний предел интегрирования</p>	