Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Факультет радиоэлектроники
Кафедра 403

Разработка алгоритмов и программ решения алгебраических задач численными методами

Расчётно-графическая работа
по дисциплине «Информатика»

Выполнил:
студент группы М4О-103Б-17
Парамонов Н. М.

Принял:
преподаватель кафедры 403
Кошелькова Л. В.

Москва
2018 г.

Оглавление

1. Условие задачи

Вариант №79

Разработать схему алгоритма, составить C++ Builder-проект вычисления таблицы значений функции:

$$y(x,a,b)=\begin{cases}4b-e^{ax}, & \text{при } x<1\\ \dfrac{x^3}{\sqrt{ax+b^2}}, & \text{иначе}\end{cases}$$

Аргумент X принимает N значений от Xn с шагом Dx, а параметр A принимает значения от An до Ak с шагом Da. Параметр B принимает значение, численно равное корню нелинейного уравнения:

$$e^{-x}+x^2-2=0$$

вычисленного на интервале $c=0$ и $d=8$ с заданной погрешностью $\varepsilon=10^{-3}\div10^{-6}$.

2. Анализ задания

Входные данные:

1. Xn – начальное значение аргумента, тип – с плавающей точкой;
2. Dx – шаг изменения аргумента, тип – с плавающей точкой;
3. N – число значений аргумента, тип – целый;
4. An – начальное значение параметра A, тип – с плавающей точкой;
5. Ak – конечное значение параметра A, тип – с плавающей точкой;
6. Da – шаг изменения параметра A, тип – с плавающей точкой;
7. C, D – интервал изоляции, тип – с плавающей точкой;
8. Eps – погрешность вычисления корня нелинейного уравнения, тип – с плавающей точкой;
9. Km - максимальное количество итераций, тип – целый;

Выходные данные:

1. Mx – массив (одномерный) значений аргумента X, тип – с плавающей точкой;
2. My – массив (двумерный) значений функции Y, тип – с плавающей точкой;
3. Ma – массив (одномерный) значений параметра A, тип – с плавающей точкой;
4. B – численное значение корня нелинейного уравнения, тип – с плавающей точкой;
5. Zt – Погрешность вычисления корня по невязке, тип – с плавающей точкой
6. Er – массив (двумерный) признака ошибки при вычислении функции, тип – целый;
7. Equat() – признак ошибки при вычислении корня нелинейного уравнения, тип – bool.

В алгоритме выполняются следующие функции:

1. Ввод исходных данных;
2. Вычисление корня нелинейного уравнения;
3. Вычисление таблицы значений функции;
4. Проверка значения подкоренного выражения и формирование признака ошибки, если оно имеет отрицательный знак;
5. Вывод результатов вычислений.

3. Теоретические сведения

Метод дихотомии

Метод половинного деления, или иначе метод дихотомии. Метод дихотомии получил свое название от древнегреческого слова διχοτομία, что в переводе означает деление надвое. Его мы используем довольно часто. Допустим, играя в игру "Угадай число", где один игрок загадывает число от 1 до 100, а другой пытается его отгадать, руководствуясь подсказками "больше" или "меньше". Логично предположить, что первым числом будет названо 50, а вторым, в случае если оно меньше - 25, если больше - 75. Таким образом, на каждом этапе неопределенность неизвестного x3 x1 x2 X Y y=f(x) уменьшается в 2 раза. Т.е. даже самый невезучий в мире человек отгадает загаданное число в данном диапазоне за 7 предположений вместо 100 случайных утверждений.

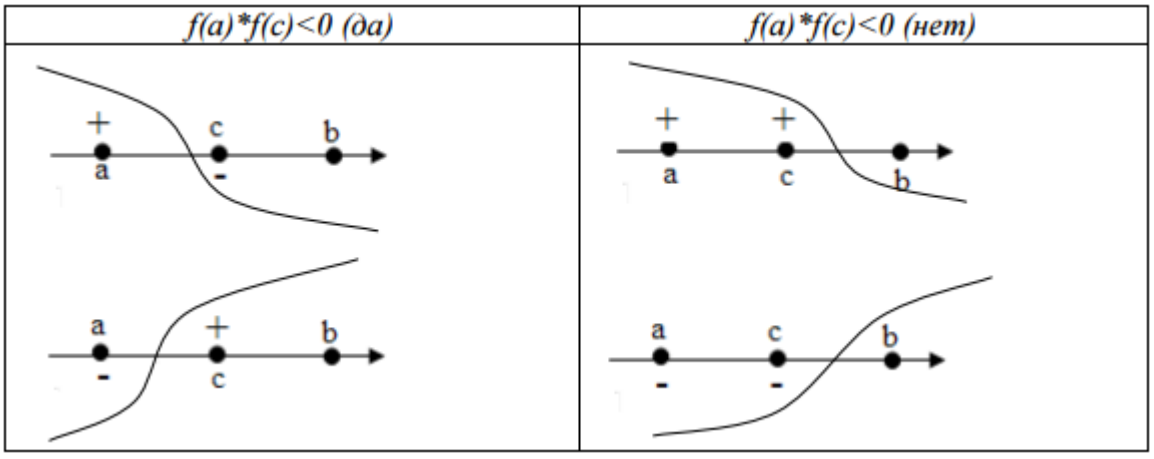
Алгоритм метода половинного деления основан на теореме Больцано - Коши о промежуточных значениях непрерывной функции и следствии из неё.

Теорема Больцано - Коши: если непрерывная функция принимает два значения, то она принимает любое значение между ними.

Следствие (теорема о нуле непрерывной функции): если непрерывная функция принимает на концах отрезка положительное и отрицательное значения, то существует точка, в которой она равна 0.

Алгоритм:

1. Задать отрезок [a,b] и погрешность ε.
2. Вычислить c=(a+b)/2
3. Определить интервал дальнейшего поиска: если f(a) и f(c) имеют разные знаки, т.е. f(a)*f(c)<0, то b=c, в противном случае a=c.



4. Если длина нового отрезка |b-a|<=ε, то вычислить значение корня c=(a+b)/2 и остановиться, в противном случае перейти к шагу 2.

4. Схемы алгоритмов

В соответствии с принципами структурного программирования каждый функционально законченный фрагмент программы оформлен в виде подпрограммы. В результате программа включает главную программу и набор подпрограмм, предназначенных соответственно для табулирования функции (Tab), вычисления корня нелинейного уравнения (Equat), вывода результатов выполнения программы (RezOut).

Схема алгоритма главной программы представлена на рис. 1, а таблица обозначения переменных главной программы – в табл. 1.
Главная программа начинается с ввода значений входных данных.

Таблица 1

Обозначение в задании	Обозначение в алгоритме	Наименование
Xn	xn	Начальное значение аргумента, тип – с плавающей точкой
Dx	dx	Шаг изменения аргумента, тип – с плавающей точкой
N	n	Число значений аргумента, тип – целый
An	an	Начальное значение параметра A, тип – с плавающей точкой
Ak	ak	Конечное значение параметра A, тип – с плавающей точкой
Da	da	Шаг изменения параметра A, тип – с плавающей точкой
C, D	c, d	Интервал изоляции, тип – с плавающей точкой
ε	eps	Погрешность вычисления корня нелинейного уравнения, тип – с плавающей точкой
	km	Максимальное количество итераций, тип – целый
	Mx	Массив значений аргумента X, тип – с плавающей точкой
	My	Массив значений функции Y, тип – с плавающей точкой
	Ma	Массив значений параметра A, тип – с плавающей точкой
B	b	Параметр функции, тип – с плавающей точкой
Zt	zt	Погрешность вычисления корня по невязке, тип – с плавающей точкой
	Er	Массив признака ошибки при вычислении функции, тип – целый
	Equat()	Признак ошибки при вычислении определённого интеграла, тип – целый
X	x	Аргумент, тип – с плавающей точкой
Y	y	Функция, тип – с плавающей точкой
	m	Количество значений параметра A, тип – целый
	i, j	Счётчики числа повторений циклов, тип – целый

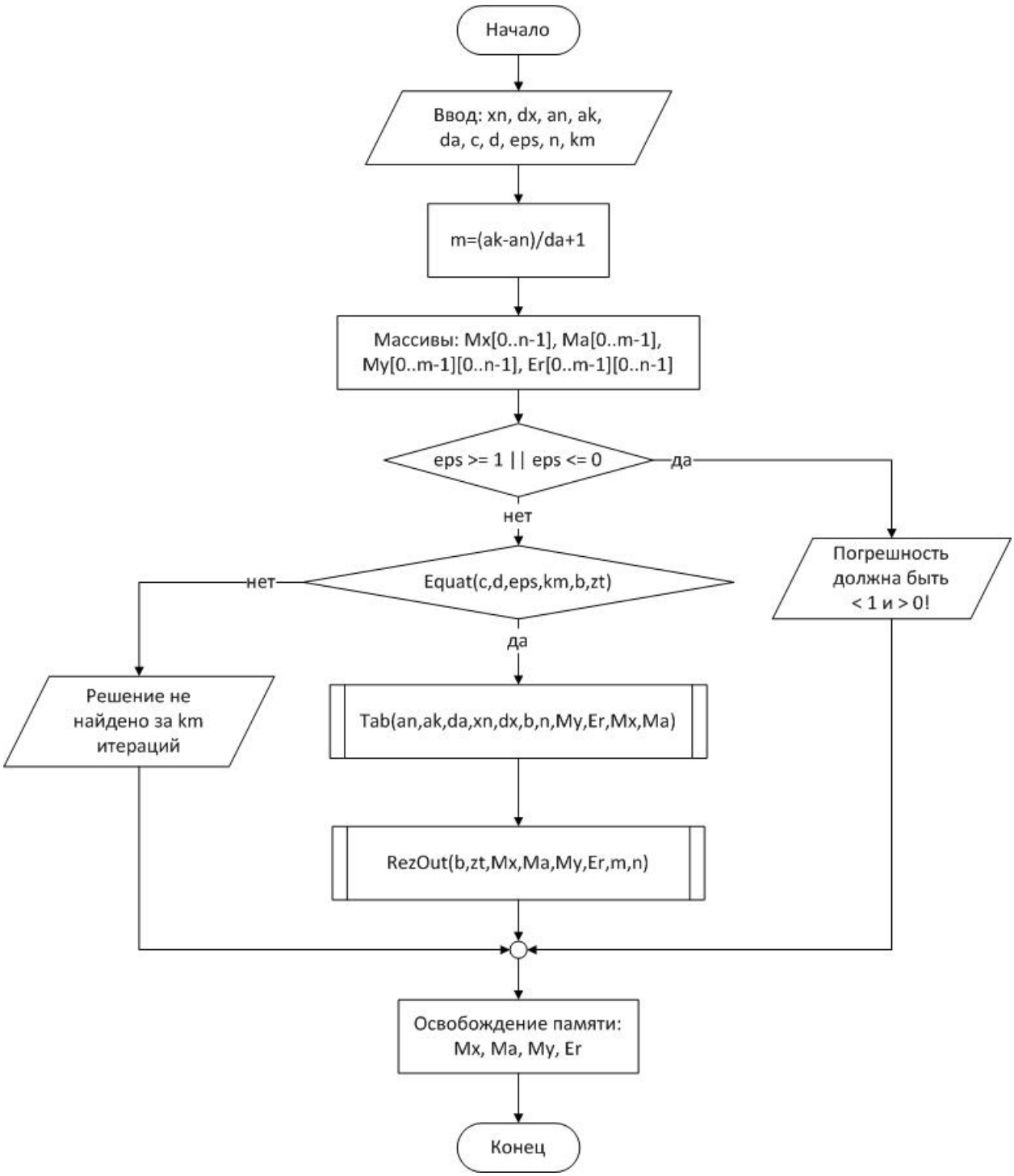


Рис. 1. Схема алгоритма главной программы

Вычисление значения корня уравнения производится путём обращения к ПФ **Equat**, возвращающей также признак ошибки в случае, если значение корня уравнения не найдено за предельно допустимое число итераций Km. При этом выводится диагностическое сообщение «Решение н найдено за Km итераций», иначе происходит табулирование функции (ПП **Tab**) и вывод результатов выполнения программы (ПП **RezOut**). Значение m определяет количество значений параметра A.

Схемы алгоритмов подпрограмм, используемых в данной программе, с указанием их назначения и списков формальных параметров приведены на рис. 2 – 5.

Подпрограмма-функция **F** (рис. 2) предназначена для вычисления значения функции уравнения, представляет собой один оператор присваивания и используется в ПП вычисления значения корня уравнения Equat.

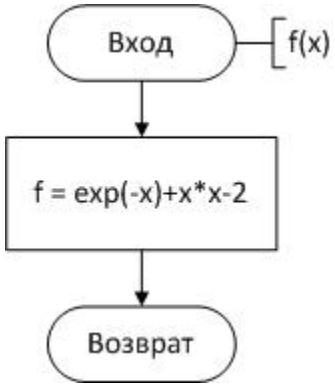


Рис. 2. Схема алгоритма подпрограммы-функции F

Подпрограмма-функция F предназначена для вычисления значения функции F.
Список формальных параметров: X.
Входные параметры:

x – аргумент функции, тип – с плавающей точкой.

Подпрограмма-процедура вычисления корня уравнения **Equat** (рис. 3) реализуется циклом итерационного типа, который завершается при условии fabs(f(z)) <= eps (проверка по невязке). Во избежание «зацикливания» программы при неудачном выборе начального приближения (или ошибках в данных) в алгоритме предусмотрено задание предельно допустимого количества повторений цикла Km и выполнение соответствующего арифметического цикла с проверкой окончания i <= Km.

Подпрограмма-процедура табулирования **Tab** (рис. 4), выполненная в виде двойного цикла, определяет функциональную зависимость вида y = f(a,x) при различных значениях параметров, поэтому внутренний цикл должен быть связан с изменением аргумента X, а внешний – с изменением параметра A. Во внутреннем цикле имеются две развилки: одна из них обусловлена тем, что функция задаётся разными формулами на разных участках изменения аргумента (проверка условия X < 1), вторая – проверяет знак подкоренного выражения и при условии $A*X+B^2 > 0$ вычисляет значение функции, в противном случае – формирует признак ошибки Er[I][J] = 1.

Подпрограмма-процедура **RezOut** (рис. 5) выводит результаты выполнения программы. По структуре она построена аналогично подпрограмме Tab: представляет собой двойной цикл арифметического типа, но в отличие от ПП Tab она получает количество значений параметра A в качестве входных данных.

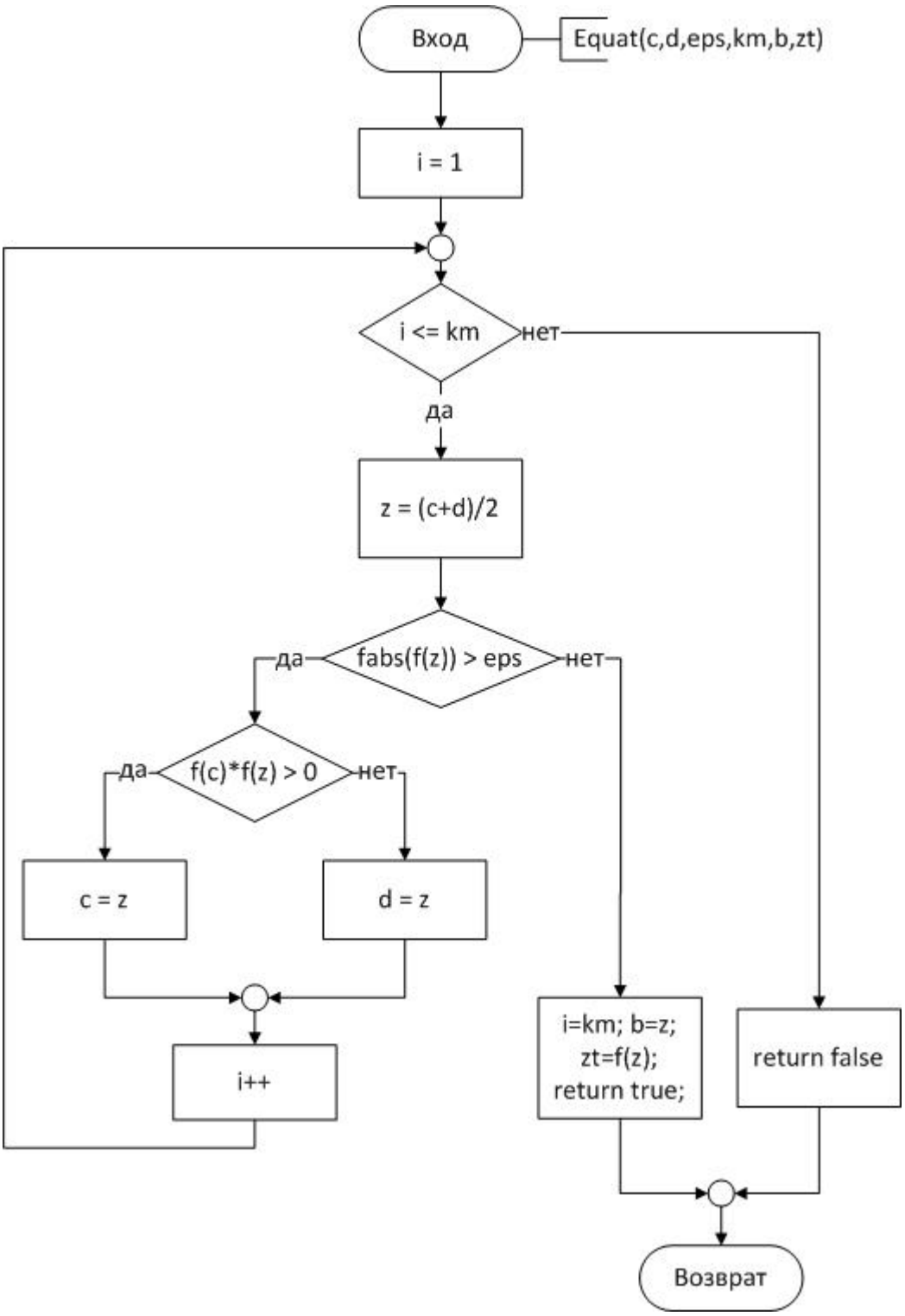


Рис. 3. Схема алгоритма подпрограммы-функции Equat

Подпрограмма-функция Equat предназначена для вычисления значения корня нелинейного уравнения с заданной погрешностью методом половинного деления.

Список формальных параметров: c, d, eps, km, b, zt.

Входные параметры:

c, d – интервал изоляции, тип – с плавающей точкой;

eps – погрешность вычисления корня уравнения, тип – с плавающей точкой;

km – предельно допустимое количество итераций, тип – целый.

Выходные параметры:

b – значение корня нелинейного уравнения, тип – с плавающей точкой;

zt – погрешность вычисления корня по невязке, тип – с плавающей точкой;

Equat() – признак ошибки, тип – bool.

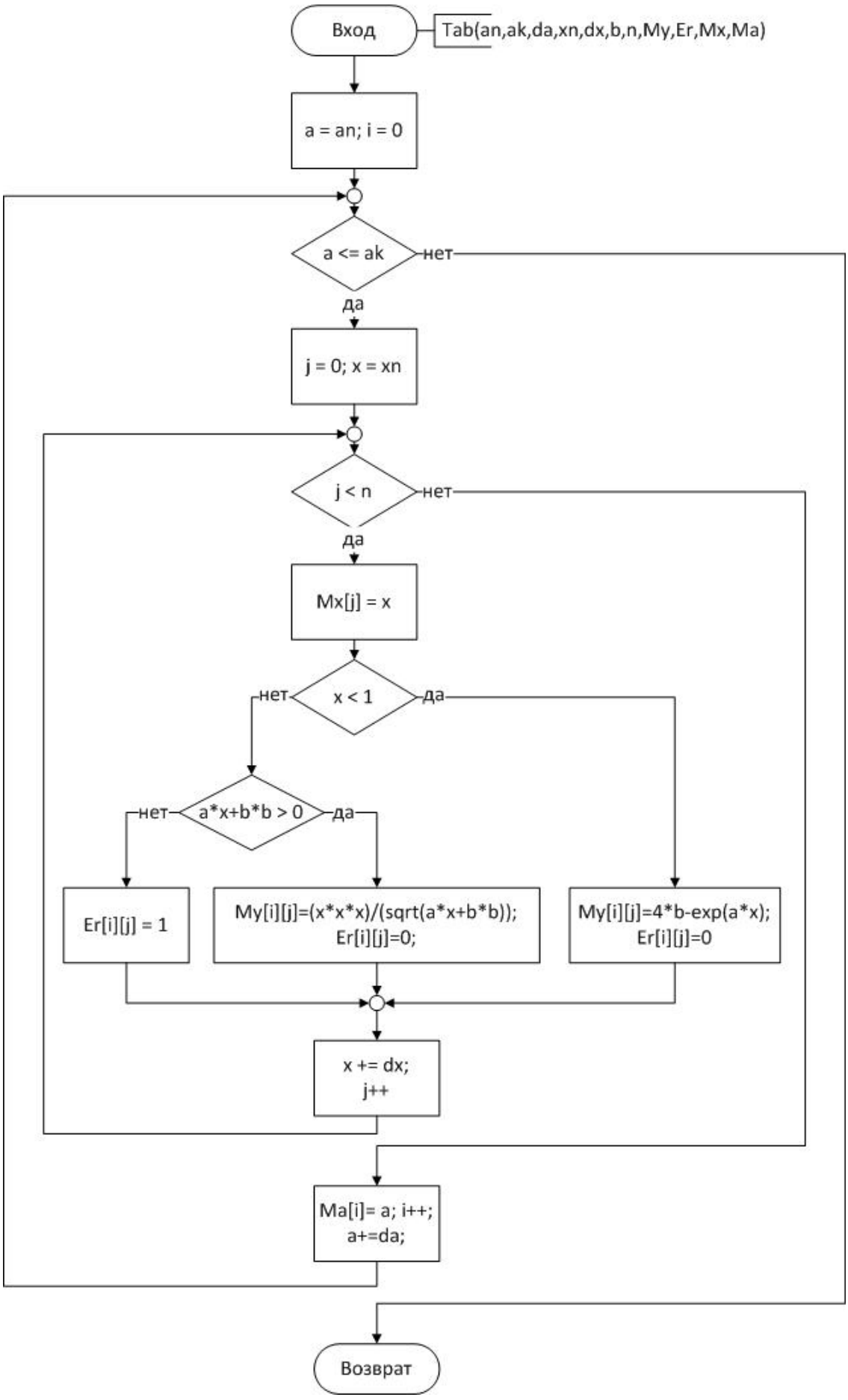


Рис. 4. Схема алгоритма подпрограммы-процедуры Tab

Подпрограмма-процедура Tab предназначена для вычисления таблицы значений функции Y.
Список формальных параметров: an, ak, da, xn, dx, n, b, er, Mx, My, Ma.
Входные параметры:

an – начальное значение параметра A, тип – с плавающей точкой;
ak – конечное значение параметра A, тип – с плавающей точкой;
da – шаг изменения параметра A, тип – с плавающей точкой;
xn – начальное значение аргумента, тип – с плавающей точкой;
dx – шаг изменения аргумента, тип – с плавающей точкой;
n – количество значений аргумента, тип – целый;
b – параметр функции, тип – с плавающей точкой.

Выходные параметры:

Er – массив признака ошибки, тип – целый;
Mx – массив значений аргумента X, тип – с плавающей точкой;
My – массив значений функции Y, тип – с плавающей точкой;
Ma – массив значений параметра A, тип – с плавающей точкой;

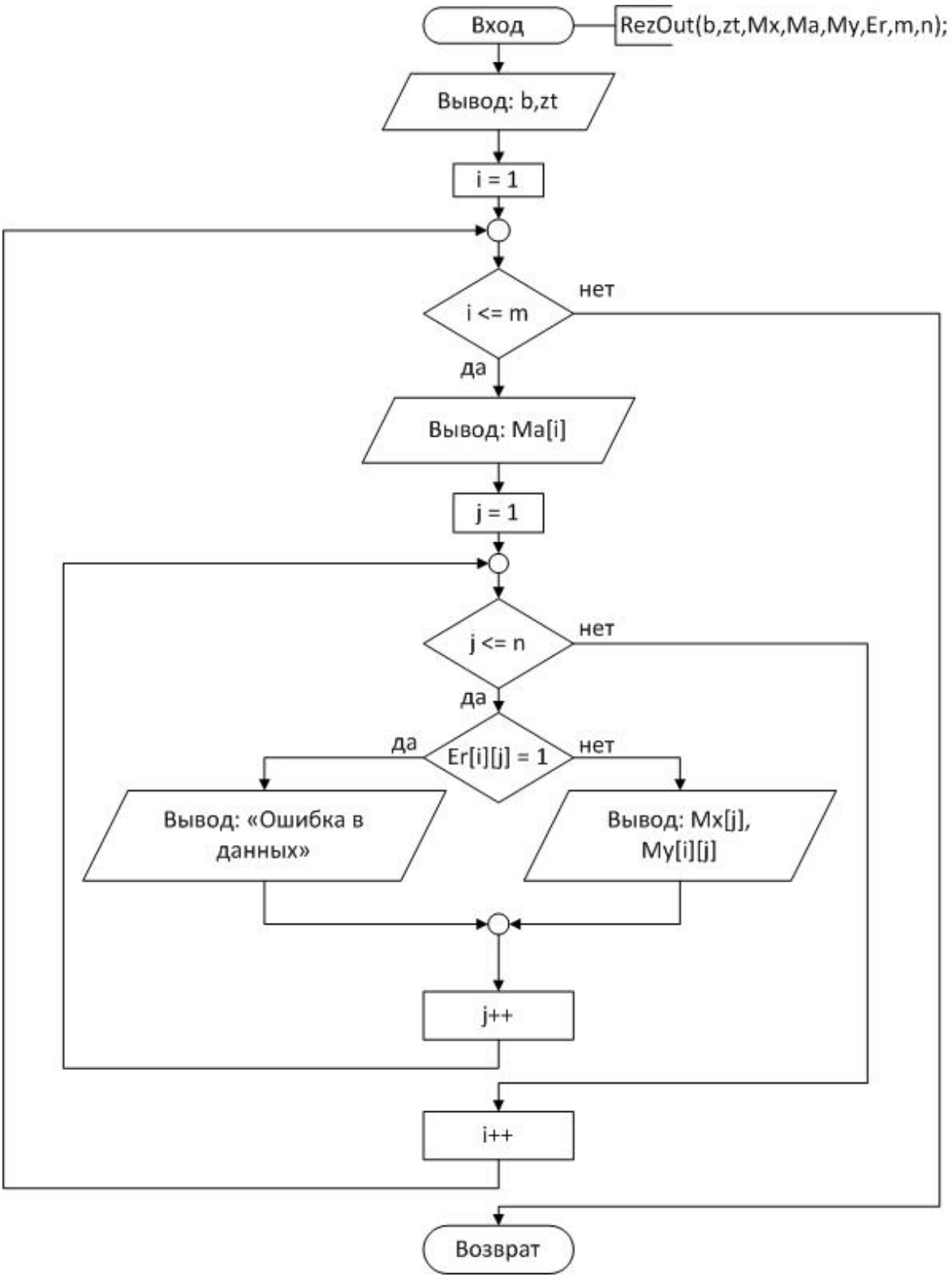


Рис. 5. Схема алгоритма подпрограммы-процедуры RezOut

Подпрограмма-процедура RezOut предназначена для вывода результатов выполнения программы на внешние носители информации.

Список формальных параметров: Mx, My, Ma, Er, n, m.

Входные параметры:

Mx – массив значений аргумента X, тип – с плавающей точкой;

My – массив значений функции Y, тип – с плавающей точкой;

Ma – массив значений параметра A, тип – с плавающей точкой;

Er – массив признака ошибки, тип – целый;

n – количество значений аргумента, тип – целый;

m – количество значений параметра A, тип - целый.

5. Описание C++ Builder-программы

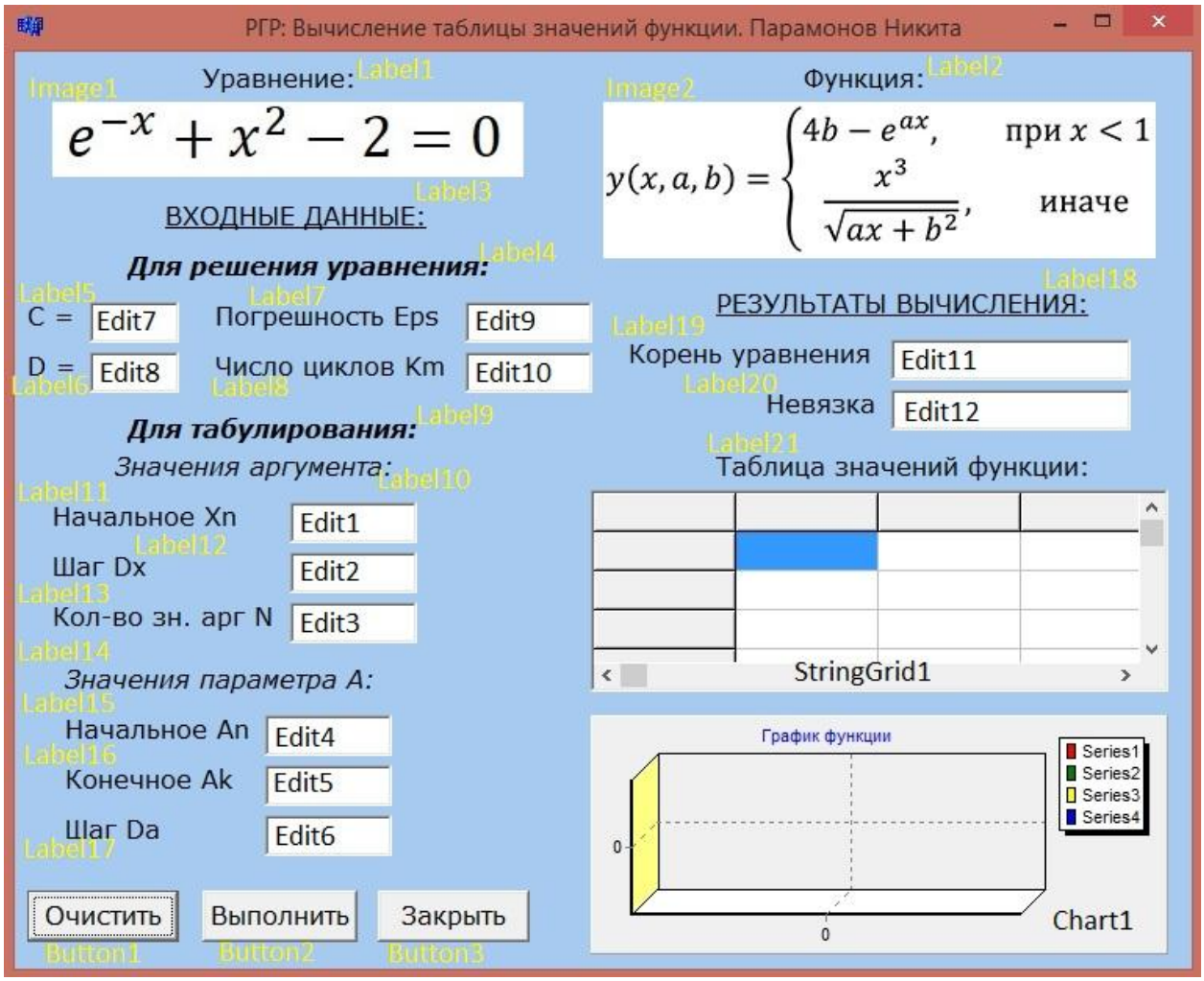


Рис. 6. Форма C++ Builder-приложения (структура проекта)

Разработка приложения в визуальной среде программирования C++ Builder включает два этапа:

- разработка интерфейса приложения;
- определение функциональности приложения, т.е. написание кода.

Интерфейс определяет способ взаимодействия пользователя и приложения, т.е. внешний вид формы при выполнении приложения и то, каким образом пользователь управляет приложением.

Разработка интерфейса состоит в создании главного окна, т.е. в расположении на форме необходимых компонентов редактирования, отображения и управления. Внешний вид формы для задачи табулирования функции представлен на рисунке 6. На форме расположены следующие визуальные компоненты: Label, Edit, Button, StringGrid, Chart, Image.

Функциональность приложения определяется процедурами, которые выполняются при возникновении определенных событий. Структура C++ Builder-проекта соответствует рассмотренным в предыдущем разделе схемам алгоритмов, но дополнительно включает процедуры или функции преобразования данных символьного типа в арифметические

при вводе и обратного преобразования арифметических данных в строковые – при выводе. Текст модуля формы представлен в следующем пункте.

Обработчик кнопки «Выполнить» по событию OnClick реализует процедуры (Equat, Tab, RezOut), необходимые для выполнения задачи. Обработчик включает в себя: функции преобразования входных данных типа String, полученных из компонентов Edit, в числа с плавающей точкой типа double или целые числа типа int; вызов процедур Equat, Tab, RezOut; заполнение таблицы StringGrid – вывод данных; функции преобразования выходных данных типа double (значения корня уравнения и невязки) в данные типа String для вывода в компоненты Edit; вывод сообщений об ошибках, если они присутствуют; вывод графика с использованием компонента Chart.

Обработчик кнопки «Очистить» по событию OnClick включает в себя: очистку компонентов Edit, используемых для получения входных (выходных – для значения корня уравнения и невязки) данных, очистку серий компонента Chart, очистку компонента StringGrid в цикле.

Обработчик кнопки «Закрыть» по событию OnClick включает в себя метод Close, обеспечивающий закрытие приложения.

6. Текст программы

Код модуля UnitRGR.cpp:

```
//---------------------------------------------------------------------------
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include <math.h>
#include "UnitRGR.h"
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
//---------------------------------------------------------------------------
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
  : TForm(Owner){
}
//---------------------------------------------------------------------------
// Кнопка "Закрыть"
void __fastcall TForm1::Button3Click(TObject *Sender){
  Close();
}
//---------------------------------------------------------------------------
// Кнопка "Очистить"
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender){
  Edit1->Clear();Edit2->Clear();Edit3->Clear();Edit4->Clear();Edit5->Clear();Edit6->Clear();Edit7->Clear();Edit8-
>Clear();Edit9->Clear();Edit10->Clear();Edit11->Clear();Edit12->Clear();
  for (int i=0; i<=StringGrid1->ColCount; i++)
    for (int j=0; j<=StringGrid1->RowCount; j++)
      StringGrid1->Cells[i][j]="";
  for(int i=0;i<=Form1->Chart1->SeriesList->CountActive()-1;i++) Form1->Chart1->Series[i]->Clear();
}
//---------------------------------------------------------------------------
// Прототип нелинейное уравнение
double f(double);
// Прототип нахождение корня нелин. ур-я
bool Equat(double,double,double,int,double&,double&);
// Прототип табулирование функции
```

```
void Tab(double,double,double,double,double,double,int,double**,double**,double*,double*);
// Прототип вывод результатов
void RezOut(double,double,double*,double*,double**,double**,int,int);
//---------------------------------------------------------------------------
//Кнопка "Выполнить"
void __fastcall TForm1::Button2Click(TObject *Sender){
  // Ввод исходных данных
  double
    xn=StrToFloat(Edit1->Text),
    dx=StrToFloat(Edit2->Text),
    an=StrToFloat(Edit4->Text),
    ak=StrToFloat(Edit5->Text),
    da=StrToFloat(Edit6->Text),
    c=StrToFloat(Edit7->Text),
    d=StrToFloat(Edit8->Text),
    eps=StrToFloat(Edit9->Text),
    b,zt;
  int
    n=StrToInt(Edit3->Text),
    km=StrToInt(Edit10->Text),
    m=(int)((ak-an)/da+1); // Кол-во зн-й параметра A
  // Объявление динамических массивов
  double*Mx=new double[n];
  double*Ma=new double[m];
  double **My= new double* [m];
  for(int i=0;i<m;i++) My[i]=new double[n];
  double **Er= new double* [m];
  for(int i=0;i<m;i++) Er[i]=new double[n];
  // Проверка на наличие ошибок и вызов подпрограмм
  if (eps >= 1 || eps <= 0) ShowMessage("Погрешность должна быть < 1 и > 0!");
  else{
    if (Equat(c,d,eps,km,b,zt)){
      Tab(an,ak,da,xn,dx,b,n,My,Er,Mx,Ma);
      RezOut(b,zt,Mx,Ma,My,Er,m,n);
    } else ShowMessage("Решение не найдено за "+IntToStr(km)+" итераций");
  }
  // Освобождение памяти
  delete [] Mx;
  delete [] Ma;
  for(int i=0;i<m;i++) delete[]My[i];
  delete [] My;
  for(int i=0;i<m;i++) delete[]Er[i];
  delete [] Er;
}
//---------------------------------------------------------------------------
// Нелинейное уравнение
double f(double x){
 return (exp(-x)+x*x-2);
}
//---------------------------------------------------------------------------
// Нахождение корня нелинейного уравнения методом деления отрезка пополам
bool Equat(double c,double d,double eps,int km,double&b,double&zt){
  int i=1;
  double z;
  while(i<=km){
    z=(c+d)/2;
    if(fabs(f(z)) > eps)
      if(f(c)*f(z) > 0) c=z; else d=z;
    else{
```

```
      i=km;
      b=z;
      zt=f(z); // Погрешность вычисления корня по невязке
      return true;
    }
    i++;
  }
  return false;
}
//---------------------------------------------------------------------------
// Табулирование функции
void Tab(double an,double ak,double da,double xn,double dx,double b,int
n,double**My,double**Er,double*Mx,double*Ma){
  double a=an,x;
  int i=0;
  while (a<=ak){
    x=xn;
    for (int j=0;j<n;j++){
      Mx[j]=x;
      if (x<1){
        My[i][j]=4*b-exp(a*x);
        Er[i][j]=0;
      }
      else
        if (a*x+b*b>0){
          My[i][j]=(x*x*x)/(sqrt(a*x+b*b));
          Er[i][j]=0;
        }
        else Er[i][j]=1;
      x+=dx;
    }
    Ma[i]= a;
    i++;
    a+=da;
  }
}
//---------------------------------------------------------------------------
// Вывод результатов
void RezOut(double b,double zt,double*Mx,double*Ma,double**My,double**Er,int m,int n){
  Form1->Edit11->Text=FloatToStrF(b,ffGeneral,10,6);
  Form1->Edit12->Text=FloatToStrF(zt,ffGeneral,10,6);
  Form1->StringGrid1->RowCount=n+1;
  Form1->StringGrid1->ColCount=m+1;
  Form1->StringGrid1->Cells[0][0]="X/A";
  for(int i=0;i<m;i++){
    Form1->StringGrid1->Cells[i+1][0]="A["+IntToStr(i)+"]="+FloatToStr(Ma[i]);
    Form1->Chart1->Series[i]->Title="A["+IntToStr(i)+"]";
    Form1->Chart1->Series[i]->Clear();
    for (int j=0;j<n;j++){
      Form1->StringGrid1->Cells[0][j+1]="X["+IntToStr(j)+"]="+FloatToStr(Mx[j]);
      if(Er[i][j]==1)
        Form1->StringGrid1->Cells[i+1][j+1]="Err";
      else
        Form1->StringGrid1->Cells[i+1][j+1]=FloatToStrF(My[i][j],ffGeneral,6,5);
      Form1->Chart1->Series[i]->AddXY(Mx[j],My[i][j]);
    }
  }
}
//---------------------------------------------------------------------------
```

Файл UnitRGR.h:

```
//---------------------------------------------------------------------------
#ifndef UnitRGRH
#define UnitRGRH
//---------------------------------------------------------------------------
#include <Classes.hpp>
#include <Controls.hpp>
#include <StdCtrls.hpp>
#include <Forms.hpp>
#include <ExtCtrls.hpp>
#include <Grids.hpp>
#include <jpeg.hpp>
#include <Chart.hpp>
#include <TeEngine.hpp>
#include <TeeProcs.hpp>
#include <Series.hpp>
//---------------------------------------------------------------------------
class TForm1 : public TForm
{
__published:       // IDE-managed Components
  TLabel *Label2;
  TImage *Image1;
  TImage *Image2;
  TLabel *Label3;
  TLabel *Label4;
  TLabel *Label5;
  TEdit *Edit1;
  TEdit *Edit2;
  TEdit *Edit3;
  TLabel *Label1;
  TLabel *Label6;
  TLabel *Label7;
  TLabel *Label8;
  TLabel *Label9;
  TLabel *Label10;
  TLabel *Label11;
  TLabel *Label12;
  TEdit *Edit4;
  TEdit *Edit5;
  TEdit *Edit6;
  TLabel *Label13;
  TStringGrid *StringGrid1;
  TButton *Button1;
  TButton *Button2;
  TButton *Button3;
  TLabel *Label14;
  TLabel *Label15;
  TLabel *Label16;
  TLabel *Label17;
  TEdit *Edit7;
  TEdit *Edit8;
  TLabel *Label18;
  TLabel *Label19;
  TEdit *Edit9;
  TEdit *Edit10;
  TEdit *Edit11;
  TEdit *Edit12;
  TLabel *Label20;
```

```
  TLabel *Label21;
  TChart *Chart1;
  TLineSeries *Series1;
  TLineSeries *Series2;
  TLineSeries *Series3;
  TLineSeries *Series4;
  TLineSeries *Series5;
  TLineSeries *Series6;
  TLineSeries *Series7;
  void __fastcall Button3Click(TObject *Sender);
  void __fastcall Button1Click(TObject *Sender);
  void __fastcall Button2Click(TObject *Sender);
private:  // User declarations
public:               // User declarations
  __fastcall TForm1(TComponent* Owner);
};
//---------------------------------------------------------------------------
extern PACKAGE TForm1 *Form1;
//---------------------------------------------------------------------------
#endif
```

7. Пример выполнения программы:

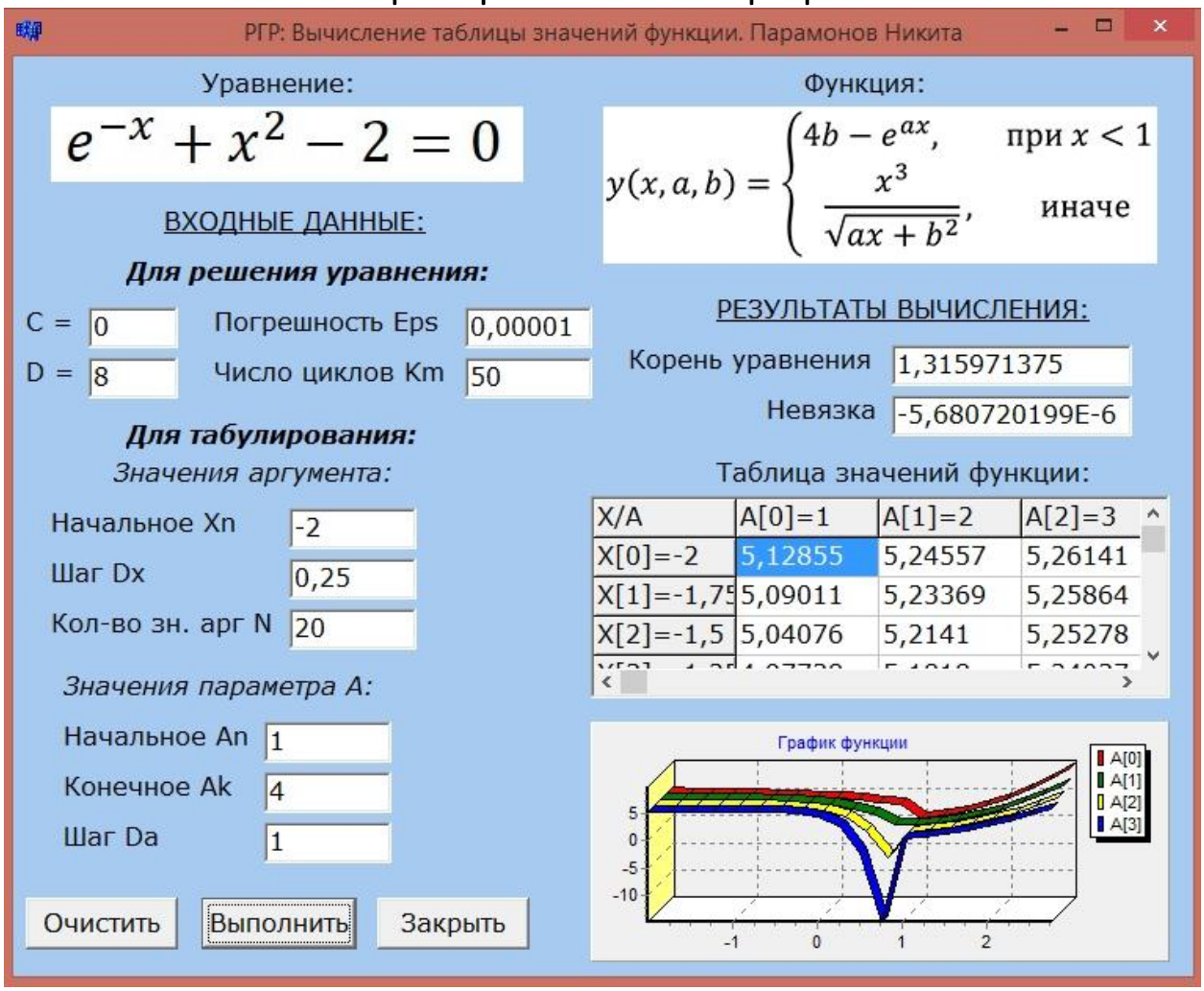


Рис. 7. Форма C++Builder-приложения с результатами выполнения программы

8. Консольное приложение

Текст программы:

```
//---------------------------------------------------------------------------
#pragma hdrstop
#include <math.h>
#include <iostream>
#include <windows.h>
#pragma argsused
using namespace std;
//---------------------------------------------------------------------------
// Прототип нелинейное уравнение
double f(double);
// Прототип нахождение корня нелин. ур-я
bool Equat(double,double,double,int,double&,double&);
// Прототип табулирование функции
void Tab(double,double,double,double,double,double,int,double**,double**,double*,double*);
// Прототип вывод результатов
void RezOut(double,double,double*,double*,double**,double**,int,int);
//---------------------------------------------------------------------------
int main(int argc, char* argv[]){
  SetConsoleCP(1251);SetConsoleOutputCP(1251); // Русский язык в консоли
  double xn,dx,an,ak,da,c,d,eps,b,zt;
  int n,km,m;
  cout << "Введите xn,dx,an,ak,da,c,d,eps,n,km: " << endl;
  scanf("%lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf %lf %i %i", &xn,&dx,&an,&ak,&da,&c,&d,&eps,&n,&km);
  system("cls");
  printf("\t\tВХОДНЫЕ ДАННЫЕ\nXn=%.2lf Dx=%.2lf An=%.2lf Ak=%.2lf Da=%.2lf C=%.2lf D=%.2lf Eps=%lf N=%i
Km=%i\n\n\n",xn,dx,an,ak,da,c,d,eps,n,km);
  m=(int)((ak-an)/da+1);
  double*Mx=new double[n];
  double*Ma=new double[m];
  double **My= new double* [m];
  for(int i=0;i<m;i++) My[i]=new double[n];
  double **Er= new double* [m];
  for(int i=0;i<m;i++) Er[i]=new double[n];
  if (eps >= 1 || eps <= 0) cout << "\n\a\t\tПогрешность должна быть < 1 и > 0!\n";
  else{
    if (Equat(c,d,eps,km,b,zt)){
      Tab(an,ak,da,xn,dx,b,n,My,Er,Mx,Ma);
      RezOut(b,zt,Mx,Ma,My,Er,m,n);
    } else cout << "\n\a\t\tРешение не найдено за "<<km<<" итераций\n";
  }
  delete [] Mx;
  delete [] Ma;
  for(int i=0;i<m;i++) delete[]My[i];
  delete [] My;
  for(int i=0;i<m;i++) delete[]Er[i];
  delete [] Er;
  system("pause");return 0;
}
//---------------------------------------------------------------------------
// Нелинейное уравнение
double f(double x){
 return (exp(-x)+x*x-2);
}
//---------------------------------------------------------------------------
// Нахождение корня нелинейного уравнения методом деления отрезка пополам
```

```
bool Equat(double c,double d,double eps,int km,double&b,double&zt){
  int i=1;
  double z;
  while(i<=km){
    z=(c+d)/2;
    if(fabs(f(z)) > eps)
      if(f(c)*f(z) > 0) c=z; else d=z;
    else{
      i=km;
      b=z;
      zt=f(z); // Погрешность вычисления корня по невязке
      return true;
    }
    i++;
  }
  return false;
}
//---------------------------------------------------------------------------
// Табулирование функции
void Tab(double an,double ak,double da,double xn,double dx,double b,int
n,double**My,double**Er,double*Mx,double*Ma){
  double a=an,x;
  int i=0;
  while (a<=ak){
    x=xn;
    for (int j=0;j<n;j++){
      Mx[j]=x;
      if (x<1){
        My[i][j]=4*b-exp(a*x);
        Er[i][j]=0;
      }
      else
        if (a*x+b*b>0){
          My[i][j]=(x*x*x)/(sqrt(a*x+b*b));
          Er[i][j]=0;
        }
        else Er[i][j]=1;
      x+=dx;
    }
    Ma[i]= a;
    i++;
    a+=da;
  }
}
//---------------------------------------------------------------------------
// Вывод результатов
void RezOut(double b,double zt,double*Mx,double*Ma,double**My,double**Er,int m,int n){
  cout << "\t\tРЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ\nКорень уранения: " << b << "; Невязка: " << zt << endl;
  cout<<"\nТаблица значений функции:\n"<<endl;
  printf("%-15s", "X/A");
  for(int i=0;i<m;i++) printf("%2s%i%2s%-10.3lf","A[",i,"]=",Ma[i]);
  cout << endl;
  for(int i=0;i<n;i++){
    printf("%2s%02i%2s%-9.2lf","X[",i,"]=",Mx[i]);
    for (int j=0;j<m;j++){
      if(Er[j][i]==1)
        printf("%-15s", "Err");
      else
        printf("%-15.6lf", My[j][i]);
```

```
    }
    cout << endl;
  }
}
//---------------------------------------------------------------------------
```

Пример выполнения программы:

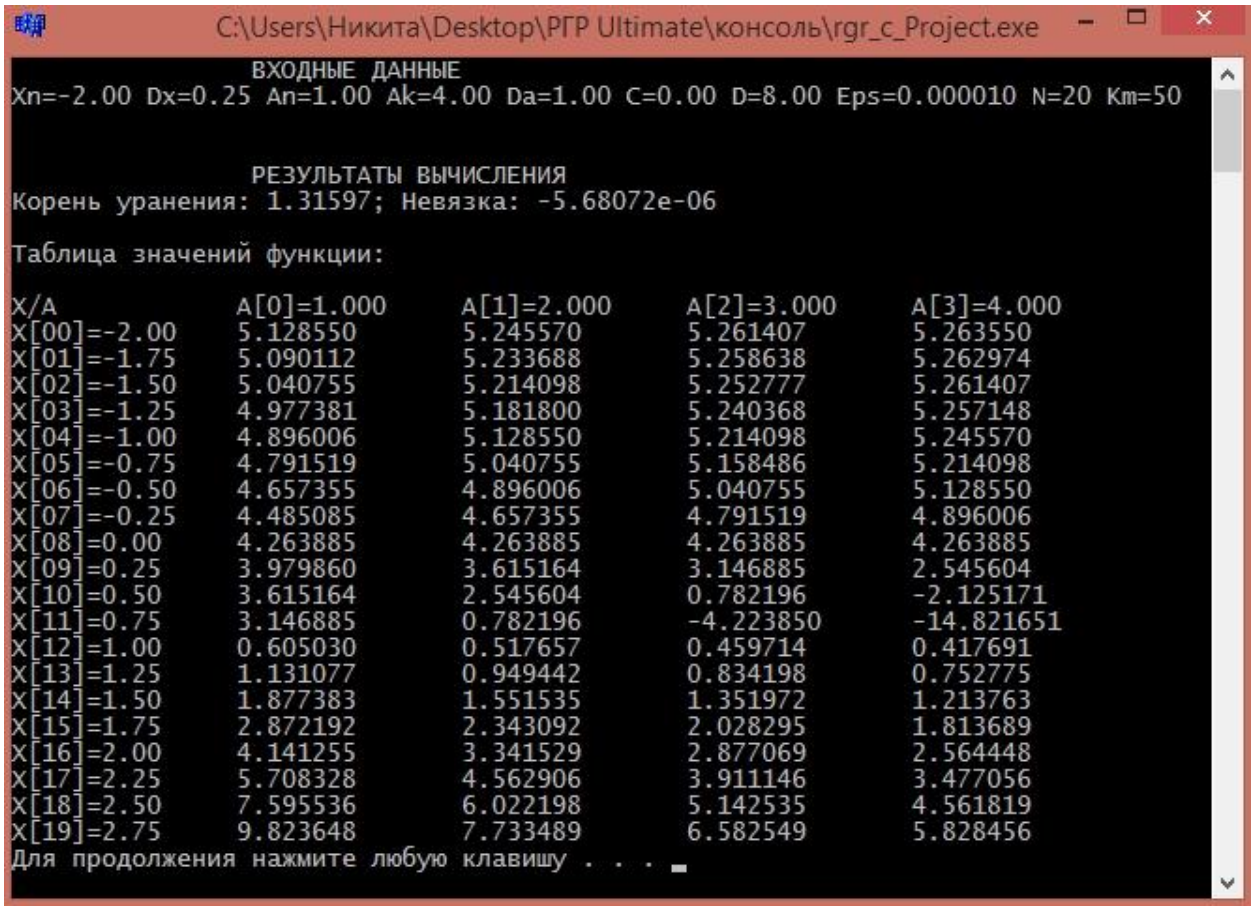


Рис. 8. Результаты выполнения консольного приложения

9. Набор тестов

Для проверки правильности алгоритмов составим тесты для всех возможных путей вычислений и выполним контрольные просчеты пользуясь независимыми от C++ Builder-среды вычислительными средствами (Калькулятор, WolframAlpha и др.). В данном случае воспользуемся системой «WolframAlpha».

Тест 1. *Проверка правильности вычисления корня нелинейного уравнения.*
Пусть входные данные имеют следующие значения: C=0; D=8; Eps=0,00001; Km=50. Результат вычисления C++ Builder-приложения показан на рис. 7 и равен 1,315971375. Результат вычисления в WolframAlpha показан на рис. 9 и равен на выбранном отрезке 1,31597, а значит при погрешности Eps=0,00001 результат верен.

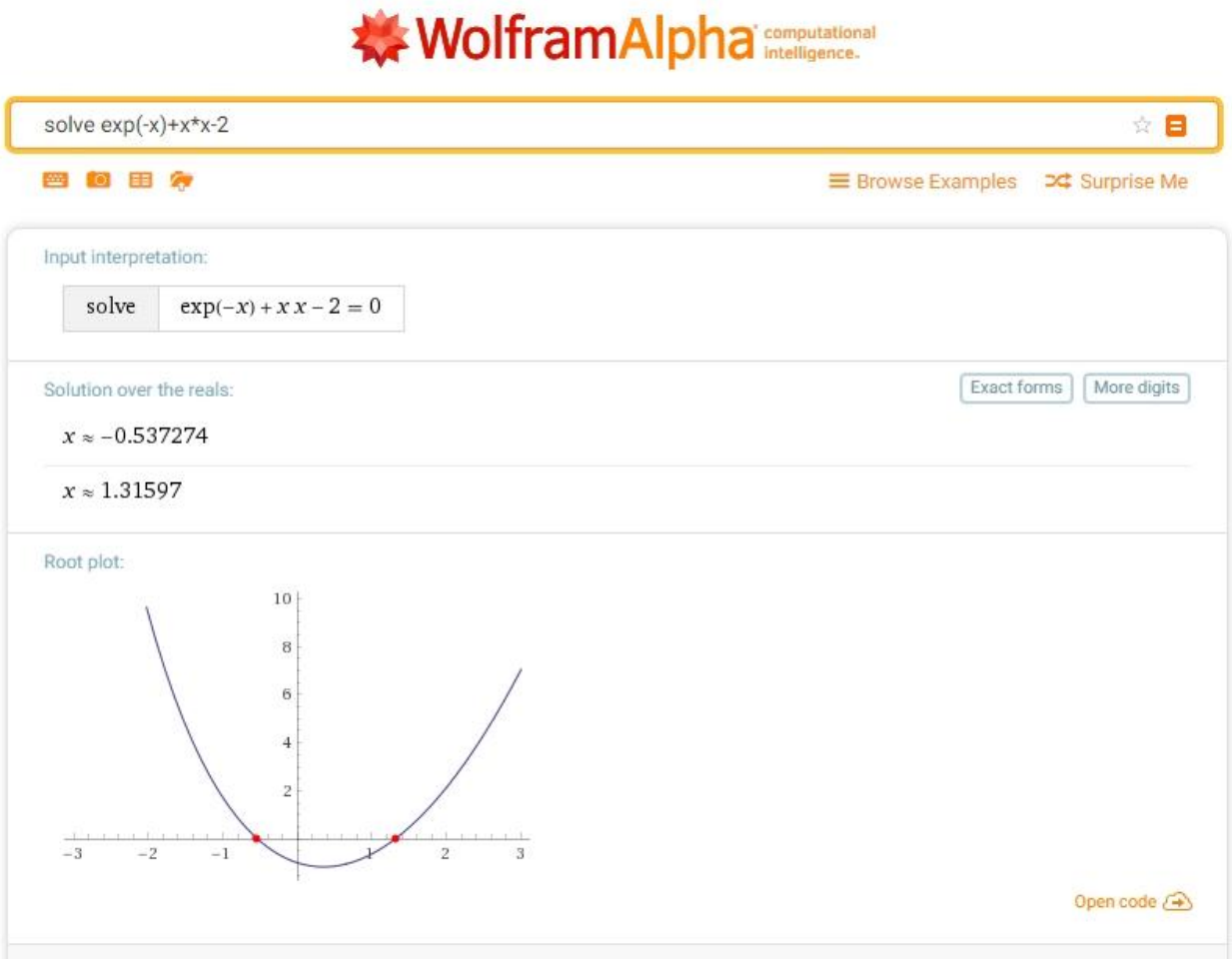


Рис. 9. Результат вычисления корня нелинейного уравнения в WolframAlpha

Тест 2. *Проверка ветви, вычисляющей значение функции при X < 1.*
Пусть входные данные имеют следующие значения: C=0; D=8; Eps=0,00001; Km=50; X=-1,75; A=2. Результат вычисления C++ Builder-приложения показан на рис. 11 и равен -5,23369. Результат вычисления в WolframAlpha показан на рис. 10 и равен 5,23369. Следовательно, значение функции при таких входных параметрах вычислено правильно.

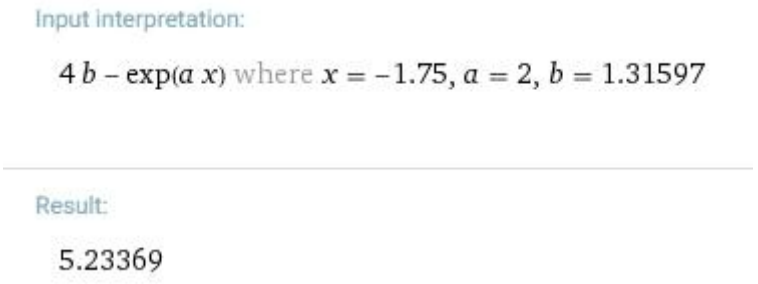
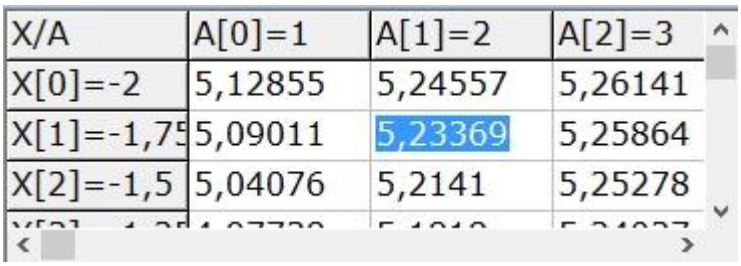


Рис. 10. Результат вычисления функции при X=-1,75 и A=2 в WolframAlpha



X/A	A[0]=1	A[1]=2	A[2]=3
X[0]=-2	5,12855	5,24557	5,26141
X[1]=-1,75	5,09011	5,23369	5,25864
X[2]=-1,5	5,04076	5,2141	5,25278

Рис. 11. Результат вычисления функции при X=-1,75 и A=2 в приложении

Тест 3. *Проверка ветви, вычисляющей значение функции при X >= 1.*
Пусть входные данные имеют следующие значения: C=0; D=8; Eps=0,00001; Km=50; X=2,5; A=1. Результат вычисления C++ Builder-приложения равен 7,59554 (рис. 13). Результат вычисления в WolframAlpha показан на рис. 12 и равен 7,59554. Следовательно, значение функции при таких входных параметрах вычислено правильно.

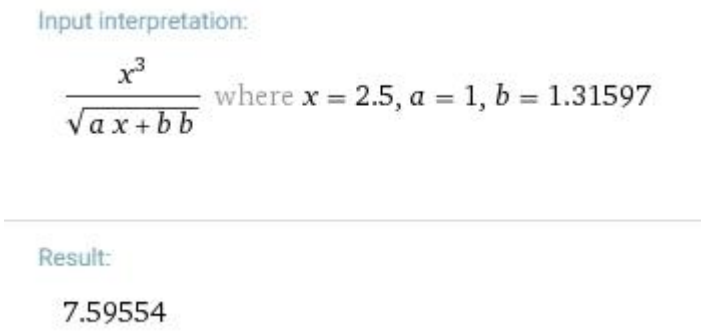


Рис. 12. Результат вычисления функции при X=2,5 и A=1 в WolframAlpha

X/A	A[0]=1	A[1]=2	A[2]=3
X[16]=2	4,14125	3,34153	2,87707
X[17]=2,2	5,70833	4,56291	3,91115
X[18]=2,5	7,59554	6,0222	5,14254

Рис. 13. Результат вычисления функции при X=2,5 и A=1 в приложении

При вводе неверных значений C++ Builder-программа выводит сообщение об ошибке.

При недостаточном числе итераций Km выводится сообщение об ошибке (рис. 14):

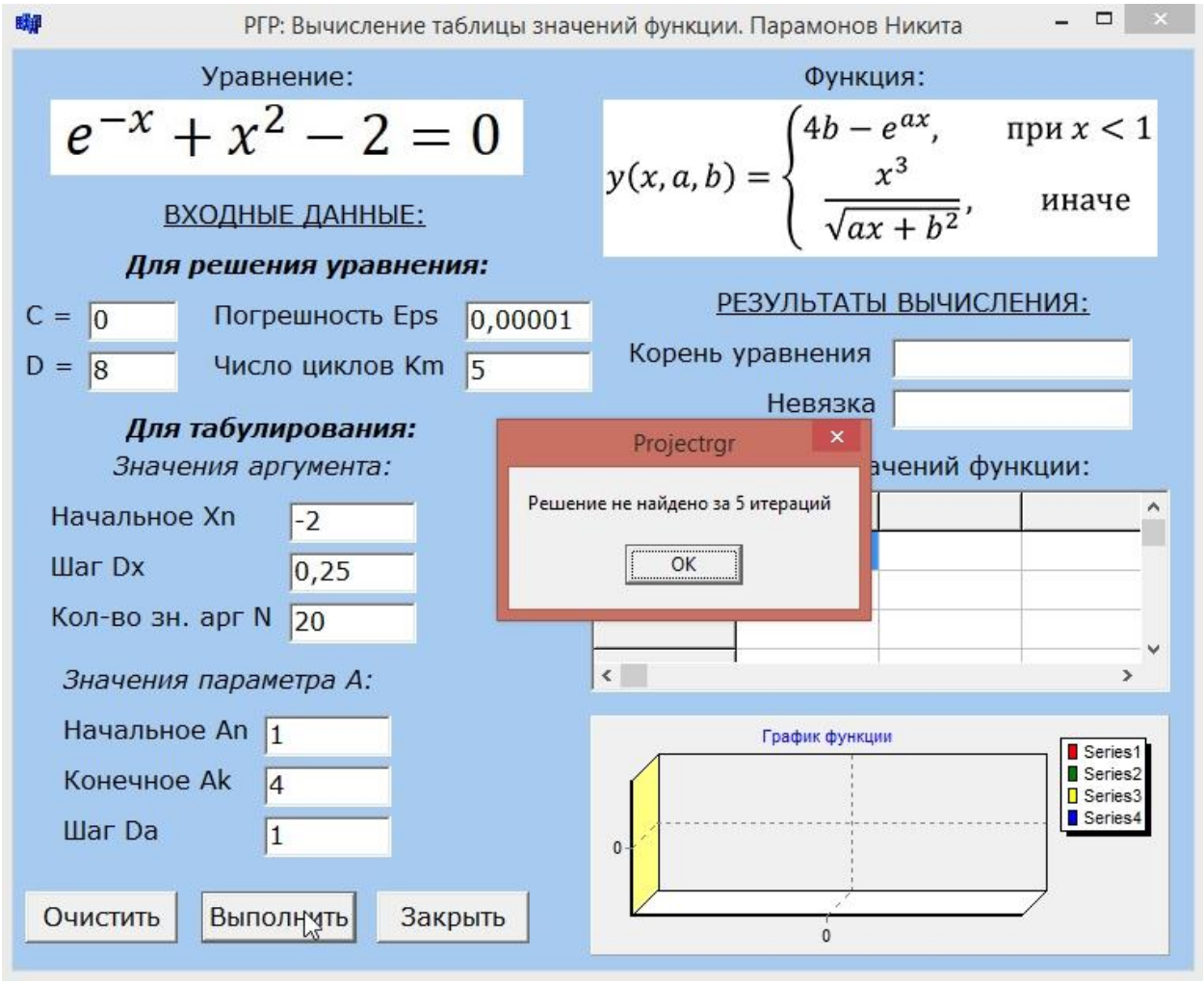


Рис. 14. Сообщение об ошибке при недостаточном числе итераций

Сообщение об ошибке также выводится при погрешности Eps большей или равной 1, или меньшей 0 (рис. 15):

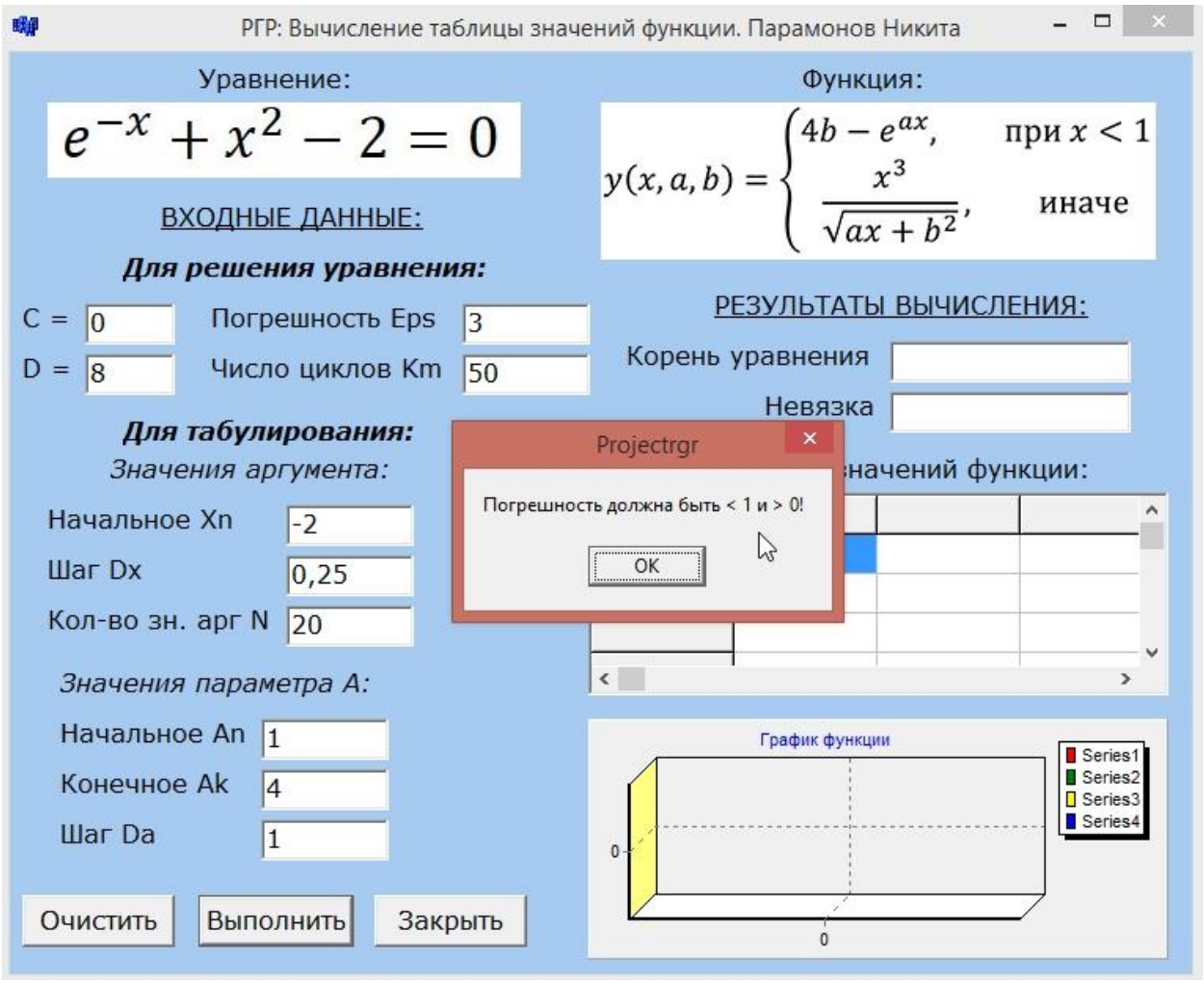


Рис. 15. Сообщение об ошибке при неправильной погрешности Eps

Если при определённых значениях аргумента X и параметра A подкоренное выражение становится меньше 0, программа выводит строку «Err» в таблице значений функции (рис. 16), сообщающую о наличии ошибки в вычислениях (выход за область определения функции):

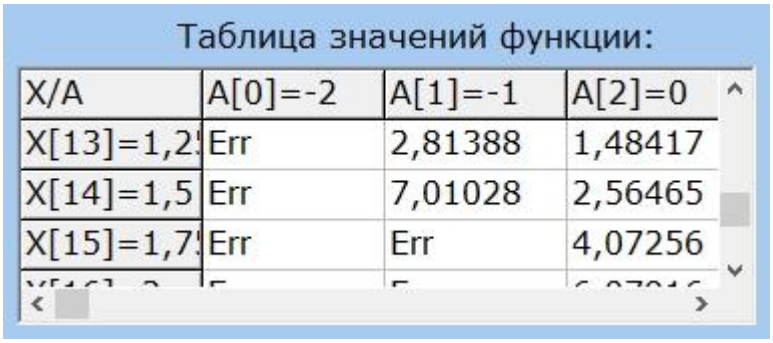


Рис. 16. Ошибка в вычислениях, если подкоренное выражение меньше 0

10. Выводы

Анализ распечатки результатов выполнения программы показывает, что полученные значения функции приближенно совпадают с результатами, полученными для контрольных тестовых примеров с помощью WolframAlpha, что подтверждает работоспособность программы. Следовательно, программа правильно вычисляет

заданную функцию по всем ветвям алгоритма и может быть использована для других значений аргументов и параметров функции.

11. Список использованной литературы

- Учебное пособие «Решение алгебраических задач численными методами в среде Delphi» Авторы: Л.В. Кошелькова, А.И. Заковряшин
- Кошелькова Л.В. Программирование в C++BUILDER. Методические указания к лабораторным работам.- МАИ, 2018
- Архангельский А.Я. Программирование в C++ Builder. 7-е изд. — М.: Бином-Пресс, 2010.
- http://cppstudio.com/ - Основы программирования на языках Си и C++ для начинающих