

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**  
**Институт компьютерных наук и технологий**  
**Высшая школа программной инженерии**

## **КУРСОВАЯ РАБОТА**

### **Исследование краевой задачи**

по дисциплине «Вычислительная математика»

Выполнил студент гр. в3530904/00022 <подпись> В.Я. Копылов

Руководитель

доцент, к.ф.- м.н.

<подпись> С.П. Воскобойников

Санкт-Петербург  
2022г.

## Оглавление

|                 |    |
|-----------------|----|
| Условия задачи  | 3  |
| Исходный код    | 4  |
| Вывод программы | 9  |
| Вывод           | 11 |

## Условия задачи

### Задание N 11.

#### Исследование краевой задачи.

Решить нелинейную краевую задачу относительно  $y(x)$  на интервале  $0 \leq x \leq 1$ ,

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = y^2 - 1; \quad y(0) = 0; \quad y(1) = 1.$$

применив метод стрельбы, используя подпрограммы RKF45 и ZEROIN.

“Пристрелку” нужно вести по  $y'(0)$  в диапазоне стрельбы  $[A, B]$ . Значения  $A$  и  $B$  задаются преподавателем.

Оценить общую погрешность результата и влияние на точность результата погрешности исходных данных.

#### Вариант N 11С.

$$A = 25 \int_0^{0.5} x^2 \sqrt{1+x^2} dx; \quad B = 1,5.$$

Рисунок 1. Условие задачи

## Исходный код

main.f90:

```
program lab4_ZEROIN
```

```
    use Environment
    use Group_Process
```

```
    ! Переменные для интегрирования QUANC8
    real(R_)  :: A_integ, B_integ, ABSERR, RELERR, RESULT, ERREST,
FLAG
    integer(I_) :: NOFUN=0
```

```
    ! Переменные для ZEROIN
    real(R_)  :: A, B, ANS, TOL
```

```
    ! переменные для RKF45
    real(R_)      :: WORK(15), z(2), dz(2)
    integer(I_)   :: NEQN = 2, IFLAG = +1
    integer(I_)   :: IWORK(5)
    real(R_)      :: T, TOUT
```

```
    ! Для циклов, ввода-вывода и прочего
    integer(I_)      :: i = 0, Out = 1, Out2 = 2
    character(:), allocatable :: template, output_file, csv_file, format
```

```
    output_file = "result.txt"
    csv_file = "dots.csv"
```

```
    ! Вычисление посредством интегрирования границы A
    open (file=output_file, newunit=Out, position="rewind")
        A_integ = 0
        B_integ = 0.5
        ABSERR = 1.E-06
        RELERR = 1.E-06
        call QUANC8(integralFunc, A_integ, B_integ, ABSERR, RELERR,
RESULT, ERREST, NOFUN, FLAG)
```

```
        format = "(a)"
        write(Out, format) "Для метода пристрелки сперва найдем границу
интервала."
```

```

format = "(a, 1f10.5)"
result = result * 25
write(Out, format) "A = ", result
write(Out, *) " "
close(Out)

```

! Вычисления lambda посредством ZEROIN

```

open (file=output_file, newunit=Out, position="append")
A = result
B = 1.5
TOL = 10 ** (-6)
ANS = zeroin(A, B, f, TOL)

```

```

format = "(a)"
write(Out, format) "функция ZEROIN вычислила lambda."
format = "(a, 1f10.5)"
write(Out, format) "lambda = ", ANS
write(Out, *) " "
close(Out)

```

! Вычисления RKF45 после найденного lambda

```

open (file=output_file, newunit=Out, position="append")
RELERR = 1.E-6
ABSERR = 1.E-6
T = 0.0
TOUT = 1.0
z(1) = ANS
z(2) = 0
call RKF45(system, NEQN, z, T, TOUT, RELERR, ABSERR, IFLAG,
WORK, IWORK)

```

```

format = "(a)"
write(Out, format) "Подставим в RKF45 lambda и проведем вычисления
еще раз."
format = "(a, 1f10.5)"
write(Out, format) "z1 = ", z(1)
write(Out, format) "z2 = ", z(2)
write(Out, *) " "
close(Out)

```

! Невязка

```

open (file=output_file, newunit=Out, position="append")
  format = "(a, 1f10.8)"
  write(Out, format) "Невязка равна: ", 1 - z(2)
  write(Out, *) " "
close(Out)

! Трассировка с шагом h=0.1 с 0 до 1
open (file=output_file, newunit=Out, position="append")
open (file=csv_file, newunit=Out2, position="rewind")
  RELERR = 1.E-6
  ABSERR = 1.E-6
  T = 0.0
  TOUT = 0.0
  z(1) = ANS
  z(2) = 0
  IFLAG = +1
  write(Out, "(a)") "Пошаговое вычисление:"
  do while (T < 1.000)
    format = "(2(a, 1f3.1))"
    write(Out, format) "От ", T, " до ", TOUT
    call RKF45(system, NEQN, z, T, TOUT, RELERR, ABSERR, IFLAG,
WORK, IWORK)

    format = "(a, 1f10.5)"
    write(Out, format) "RKF45, h=0.1, z1=", z(1)
    write(Out, format) "RKF45, h=0.1, z2=", z(2)
    if (IFLAG /= 2) then
      write(Out, *) "Flag :", IFLAG
    end if
    write(Out, *) "---"

    ! Запись в csv точек
    format = "(2(1f8.6, a1), 1f8.6)"
    write(Out2, format) TOUT, ",", z(1), ",", z(2)

    T = TOUT
    TOUT = TOUT + 0.1
  end do
close(Out2)
close(Out)
end program lab4_ZEROIN

```

group\_process.f90

module Group\_Process

use Environment

contains

! функция для ZEROIN

real(R\_) function f(lambda)

! Входные переменные

real(R\_) :: lambda

! Локальные переменные

! Для RKF45

real(R\_) :: RELERR = 1.E-6, ABSERR = 1.E-6

real(R\_) :: WORK(15), z(2), dz(2)

integer(I\_) :: NEQN = 2, IFLAG = +1

integer(I\_) :: IWORK(5)

real(R\_) :: T, TOUT

! Границы интегрирования

T = 0

TOUT = 1

! Начальные значения

z(1) = lambda

z(2) = 0

call RKF45(system, NEQN, z, T, TOUT, RELERR, ABSERR, IFLAG,  
WORK, IWORK)

f = z(2) - 1

end function f

! система дифф. уравнений

real(R\_) function find\_dz1(z2)

real(R\_) :: z2

find\_dz1 = z2 \* z2 - 1

end function find\_dz1

real(R\_) function find\_dz2(z1)

real(R\_) :: z1

find\_dz2 = z1

end function find\_dz2

```

subroutine system(t, z, dz)
  real(R_), intent(inout) :: t, z(2)
  real(R_), intent(inout) :: dz(2)

  dz(1) = find_dz1(z(2))
  dz(2) = find_dz2(z(1))
end subroutine system

! подинтегральная функция
real(R_) function integralFunc(x)
  ! Параметры
  real(R_) :: x

  integralFunc = (x**2) * sqrt(1 + (x**2))
  return
end function integralFunc
end module Group_Process

```



## Вывод программы

```
1  Для метода пристрелки сперва найдем границу интервала.
2  A =      1.11661
3
4  функция ZEROIN вычислила lambda.
5  lambda =      1.39361
6
7  Подставим в RKF45 lambda и проведем вычисления еще раз.
8  z1 =      0.78027
9  z2 =      0.99998
10
11 Невязка равна: 0.00002027
12
13 Пошаговое вычисление:
14 От 0.0 до 0.0
15 RKF45, h=0.1, z1=      1.39361
16 RKF45, h=0.1, z2=      0.00000
17 | ---
18 От 0.0 до 0.1
19 RKF45, h=0.1, z1=      1.29422
20 RKF45, h=0.1, z2=      0.13438
21 | ---
22 От 0.1 до 0.2
23 RKF45, h=0.1, z1=      1.19825
24 RKF45, h=0.1, z2=      0.25896
25 | ---
26 От 0.2 до 0.3
27 RKF45, h=0.1, z1=      1.10843
28 RKF45, h=0.1, z2=      0.37423
29 | ---
```

Рисунок 2. Скриншот файла вывода 1

```

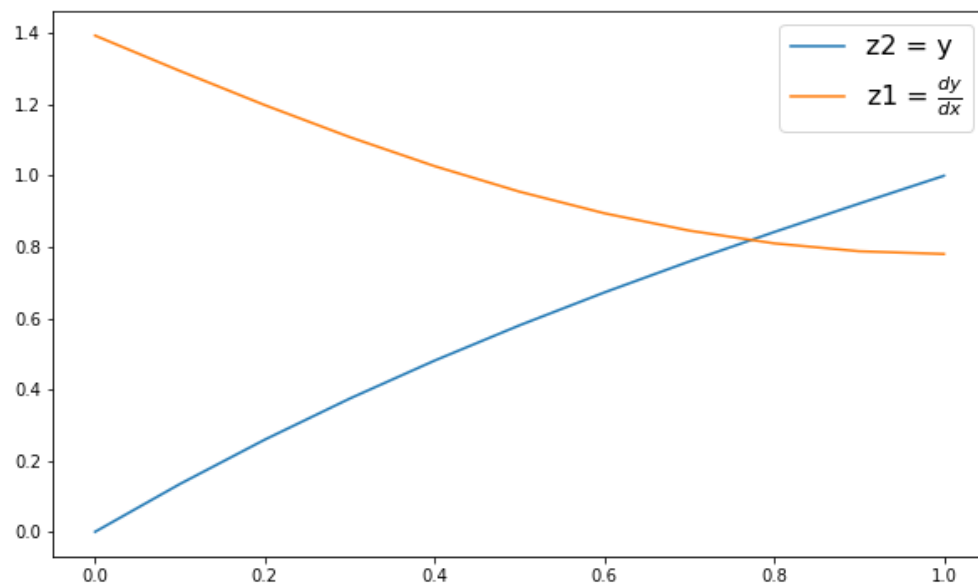
От 0.3 до 0.4
RKF45, h=0.1, z1= 1.02687
RKF45, h=0.1, z2= 0.48092
---
От 0.4 до 0.5
RKF45, h=0.1, z1= 0.95515
RKF45, h=0.1, z2= 0.57993
---
От 0.5 до 0.6
RKF45, h=0.1, z1= 0.89449
RKF45, h=0.1, z2= 0.67232
---
От 0.6 до 0.7
RKF45, h=0.1, z1= 0.84584
RKF45, h=0.1, z2= 0.75923
---
От 0.7 до 0.8
RKF45, h=0.1, z1= 0.81004
RKF45, h=0.1, z2= 0.84192
---
От 0.8 до 0.9
RKF45, h=0.1, z1= 0.78788
RKF45, h=0.1, z2= 0.92170
---
От 0.9 до 1.0
RKF45, h=0.1, z1= 0.78027
RKF45, h=0.1, z2= 0.99998
---

```

Рисунок 3. Скриншот файла вывода 2

## Вывод

График посредством пошагового интегрирования:



При точности вычисления RKF45  $1.E-06$ , невязка составила 0.000020, что означает приемлемую точность для метода стрельбы, применимого посредством трех функций: QUANC8, ZEROIN и RKF45.