Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого
Высшая школа интеллектуальных систем и суперкомпьютерных технологий

Отчет по лабораторной работе №3

Дисциплина: Вычислительная математика

Вариант: 15

Выполнил

студент гр. 3530901/90003 ___________________________ Руднев А.К.

(подпись)

Преподаватель ___________________________ Цыган В.Н.

(подпись)

«___» _______________ 2021 г.

Санкт-Петербург
2021

Входные данные: вариант 15

Привести дифференциальное уравнение: $\boldsymbol{t(t+1)y'' + (3t+2)y' + y = 0}$

к системе двух дифференциальных уравнений первого порядка.

Решить на интервале $\boldsymbol{1 \le t \le 2}$

Начальные условия: $\boldsymbol{y(t-1) = 1}$; $\boldsymbol{y'(t-1) = -1}$

Точное решение: $\boldsymbol{y(t) = \frac{1}{t}}$

При выполнении лабораторной работы решить заданное уравнение:

1) используя программу RKF45 с шагом печати $\mathbf{h_{print}}$ **= 0.1** и выбранной Вами погрешностью EPS в диапазоне 0.001 – 0.00001;

2) используя метод Эйлера-Коши;

Сравнить результаты, полученные заданными приближенными способами, с точным решением.

Исследовать влияние величины шага интегрирования h_{int} на величины локальной и глобальной погрешностей решения заданного уравнения для чего решить уравнение, используя 1 – 3 значения шага интегрирования, существенно меньшие исходной величины 0.1 (например, h_{int} = 0.05; h_{int} = 0.025 h_{int} = 0.0125).

1. Ход решения

1.1 Приведение дифференциального уравнения второго порядка к системе двух дифференциальных уравнений первого порядка:

Пусть $y' = p$, тогда $t(t+1)y'' + (3t+2)y' = t(t+1)p' + (3t+2)p + y$

Исходя из замены получаем:

$$\begin{cases} y' = p \\ t(t+1)p' + (3t+2)p + y \end{cases} \leftrightarrow \begin{cases} y' = p \\ p' = \dfrac{-2tp - 2p - y}{t^2} \end{cases}$$

1.2 Применение метода Эйлера-Коши:

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i, \Delta y_i = \Delta y_{i1} + \Delta y_{i2},$$

$$\Delta y_{i1} = \frac{h}{2} f(x_i, y_i), \Delta y_{i2} = \frac{h}{2} f(x_i + h, y_i + h f(x_i, y_i))$$

$$y_{i+1} = y_i + h\frac{f(x_i, y_i) + f(x_{i+1}, y_i + hf(x_i, y_i))}{2}.$$

Метод заключается в первоначальном поиске X_{n+1}, а потом в уточнении этого значения.

2. Решение:

1) Добавлю в проект уже реализованную подпрограмму RKF45

2) Добавлю в проект метод Эйлера-Коши

3) Создам все необходимые переменные, а также вспомогательные методы для решения дифференциального уравнения.

4) Локальной погрешность при решении методом Эйлера-Коши будет X(T + h) – значение X в (T + h).

3. Листинг:

Листинг кода представлен в приложении 1.

4. Решение RKF45

Используя подпрограмму RKF45 с шагом печати h_{print} = 0.1 и выбранной локальной и глобальной погрешностью EPS = 0.00001, решу дифференциальное уравнение. (рисунок 2). Сравню полученные результаты при различных значениях локальной и глобальной погрешностях:

На рисунке 2 приведены скриншоты работы подпрограммы RKF45. На первом снимке начальными условиями RELERR и ABSERR = 0.0001. На втором скриншоте было уменьшено значение RELERR и как видно из рисунка 2, уменьшение RELERR никак не отразилось на вычислениях. На третьем скриншоте представлено уменьшение значения ABSERR и как видно из рисунка 2, уменьшение ABSERR повлияло на значение на величину погрешности - уменьшив её.

```
RELERR = 0.00010
ABSERR = 0.00010
Tout = 1.1
X[0] = 0.90909089        (-0.000000022266)
X[1] = -0.82644628       (-0.000000003242)
Tout = 1.2
X[0] = 0.83333330        (-0.000000034682)
X[1] = -0.69444445       (-0.000000003059)
Tout = 1.3
X[0] = 0.76923073        (-0.000000041888)
X[1] = -0.59171598       (-0.000000001897)
Tout = 1.4
X[0] = 0.71428567        (-0.000000046182)
X[1] = -0.51020408       (-0.000000000585)
Tout = 1.5
X[0] = 0.66666662        (-0.000000048771)
X[1] = -0.44444444       (0.000000000607)
Tout = 1.6
X[0] = 0.62499995        (-0.000000050320)
X[1] = -0.39062500       (0.000000001607)
Tout = 1.7
X[0] = 0.58823524        (-0.000000051210)
X[1] = -0.34602076       (0.000000002417)
Tout = 1.8
X[0] = 0.55555550        (-0.000000051673)
X[1] = -0.30864197       (0.000000003060)
Tout = 1.9
X[0] = 0.52631574        (-0.000000051849)
X[1] = -0.27700831       (0.000000003561)
Tout = 2.0
X[0] = 0.49999995        (-0.000000051829)
X[1] = -0.25000000       (0.000000003948)
```

```
RELERR = 0.00001
ABSERR = 0.00010
Tout = 1.1
X[0] = 0.90909089        (-0.000000022266)
X[1] = -0.82644628       (-0.000000003242)
Tout = 1.2
X[0] = 0.83333330        (-0.000000034682)
X[1] = -0.69444445       (-0.000000003059)
Tout = 1.3
X[0] = 0.76923073        (-0.000000041888)
X[1] = -0.59171598       (-0.000000001897)
Tout = 1.4
X[0] = 0.71428567        (-0.000000046182)
X[1] = -0.51020408       (-0.000000000585)
Tout = 1.5
X[0] = 0.66666662        (-0.000000048771)
X[1] = -0.44444444       (0.000000000607)
Tout = 1.6
X[0] = 0.62499995        (-0.000000050320)
X[1] = -0.39062500       (0.000000001607)
Tout = 1.7
X[0] = 0.58823524        (-0.000000051210)
X[1] = -0.34602076       (0.000000002417)
Tout = 1.8
X[0] = 0.55555550        (-0.000000051673)
X[1] = -0.30864197       (0.000000003060)
Tout = 1.9
X[0] = 0.52631574        (-0.000000051849)
X[1] = -0.27700831       (0.000000003561)
Tout = 2.0
X[0] = 0.49999995        (-0.000000051829)
X[1] = -0.25000000       (0.000000003948)
```

```
RELERR = 0.00010
ABSERR = 0.00000
Tout = 1.1
X[0] = 0.90909089        (-0.0000000222656661)
X[1] = -0.82644628       (-0.0000000032416427)
Tout = 1.2
X[0] = 0.83333330        (-0.0000000346822081)
X[1] = -0.69444445       (-0.0000000030590750)
Tout = 1.3
X[0] = 0.76923073        (-0.0000000418879914)
X[1] = -0.59171598       (-0.0000000018970184)
Tout = 1.4
X[0] = 0.71428567        (-0.0000000461822500)
X[1] = -0.51020408       (-0.0000000005849747)
Tout = 1.5
X[0] = 0.66666662        (-0.0000000487711634)
X[1] = -0.44444444       (0.0000000006066694)
Tout = 1.6
X[0] = 0.62499995        (-0.0000000503195987)
X[1] = -0.39062500       (0.0000000016074318)
Tout = 1.7
X[0] = 0.58823524        (-0.0000000512104077)
X[1] = -0.34602076       (0.0000000024174817)
Tout = 1.8
X[0] = 0.55555550        (-0.0000000516727892)
X[1] = -0.30864197       (0.0000000030595587)
Tout = 1.9
X[0] = 0.52631574        (-0.0000000518488158)
X[1] = -0.27700831       (0.0000000035610321)
Tout = 2.0
X[0] = 0.49999995        (-0.0000000518293509)
X[1] = -0.25000000       (0.0000000039475241)
```

Рис. 2 - RKF45

5. Сравнение результатов RKF45 и метода Эйлера-Коши при разном шаге h. Исследования влияния шага на величину глобальной погрешности

Сравнение результатов с шагами h = 0.1, 0.05, 0.025, 0.01 результаты приведены на рисунках 3-6 соответственно.

```
Решение через программу RKF45
Tout = 2.0
RELERR = 0.00010
ABSERR = 0.00001
X[0] = 0.49999610        (-0.000003904321)
X[1] = -0.25000004       (-0.000000040646)
Решение методом Эйлера-Коши
Tout = 2.0
h = 0.1000
X[0] = 0.65287919        (0.15287919)
X[1] = -0.45945421       (-0.20945421)
```

Рис. 3

```
Решение через программу RKF45
Tout = 2.0
RELERR = 0.00010
ABSERR = 0.00001
X[0] = 0.49999610        (-0.000003904321)
X[1] = -0.25000004       (-0.000000040646)
Решение методом Эйлера-Коши
Tout = 2.0
h = 0.0500
X[0] = 0.65515533        (0.15515533)
X[1] = -0.47147994       (-0.22147994)
```

Рис. 4

```
Решение через программу RKF45
Tout = 2.0
RELERR = 0.00010
ABSERR = 0.00001
X[0] = 0.49999610        (-0.000003904321)
X[1] = -0.25000004       (-0.000000040646)
Решение методом Эйлера-Коши
Tout = 2.0
h = 0.0250
X[0] = 0.65026792        (0.15026792)
X[1] = -0.47067862       (-0.22067862)
```

Рис. 5

```
Решение через программу RKF45
Tout = 2.0
RELERR = 0.00010
ABSERR = 0.00001
X[0] = 0.49999610        (-0.000003904321)
X[1] = -0.25000004       (-0.000000040646)
Решение методом Эйлера-Коши
Tout = 2.0
h = 0.0100
X[0] = 0.65686317        (0.15686317)
X[1] = -0.48066848       (-0.23066848)
```

Рис. 6

Исходя из рисунков можно сделать вывод, что подпрограмма RKF45 оказалась эффективнее – более точна, чем подпрограмма RKF45. Из рисунков 3-6 видно, что уменьшение шага интегрирования приводит не только к уменьшению глобальной погрешности, но также может и увеличить её.

6. Исследование влияния величины шага интегрирования h_{int} на величину локальной погрешности решения заданного уравнения:

Из варьируемых параметров h_{int} = 0.1, 0.05, 0.025 на рисунках 3-6, можно сделать вывод, что h_{int} влияет на глобальную погрешность увеличивая или уменьшая её.

```
h=0.1000
Tn = 1.0000
Xn[0] = 1.00000000
Xn[1] = -1.00000000
Tn+1 = 1.1000       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.95000000    (0.04090909)
Xn+1[1] = -0.90000000   (-0.07355372)
Tn = 1.1000
Xn[0] = 0.90909091
Xn[1] = -0.82644628
Tn+1 = 1.2000       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.86776860    (0.03443526)
Xn+1[1] = -0.75131480   (-0.05687036)
Tn = 1.2000
Xn[0] = 0.83333333
Xn[1] = -0.69444444
Tn+1 = 1.3000       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.79861111    (0.02938034)
Xn+1[1] = -0.63657407   (-0.04485810)
Tn = 1.3000
Xn[0] = 0.76923077
Xn[1] = -0.59171598
Tn+1 = 1.4000       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.73964497    (0.02535926)
Xn+1[1] = -0.54619936   (-0.03599528)
Tn = 1.4000
Xn[0] = 0.71428571
Xn[1] = -0.51020408
```

Рис. 7

```
Tn = 1.5000
Xn[0] = 0.66666667
Xn[1] = -0.44444444
Tn+1 = 1.6000       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.64444444    (0.01944444)
Xn+1[1] = -0.41481481   (-0.02418981)
Tn = 1.6000
Xn[0] = 0.62500000
Xn[1] = -0.39062500
Tn+1 = 1.7000       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.60546875    (0.01723346)
Xn+1[1] = -0.36621094   (-0.02019018)
Tn = 1.7000
Xn[0] = 0.58823529
Xn[1] = -0.34602076
Tn+1 = 1.8000       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.57093426    (0.01537870)
Xn+1[1] = -0.32566660   (-0.01702462)
Tn = 1.8000
Xn[0] = 0.55555556
Xn[1] = -0.30864198
Tn+1 = 1.9000       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.54012346    (0.01380767)
Xn+1[1] = -0.29149520   (-0.01448689)
Tn = 1.9000
Xn[0] = 0.52631579
Xn[1] = -0.27700831
Tn+1 = 2.0000       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.51246537    (0.01246537)
Xn+1[1] = -0.26242893   (-0.01242893)
```

Рис. 8

Из рисунка 7 и 8 для шага интегрирования = 0.1 видно, что максимальная локальная погрешность для X[0] = 0.040909, а для X[1] = -0.073553.

```
h=0.0500
Tn = 1.0000
Xn[0] = 1.00000000
Xn[1] = -1.00000000
Tn+1 = 1.0500      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.97500000    (0.02261905)
Xn+1[1] = -0.95000000   (-0.04297052)
Tn = 1.0500
Xn[0] = 0.95238095
Xn[1] = -0.90702948
Tn+1 = 1.1000      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.92970522    (0.02061431)
Xn+1[1] = -0.86383760   (-0.03739132)
Tn = 1.1000
Xn[0] = 0.90909091
Xn[1] = -0.82644628
Tn+1 = 1.1500      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.88842975    (0.01886453)
Xn+1[1] = -0.78888054   (-0.03273687)
Tn = 1.1500
Xn[0] = 0.86956522
Xn[1] = -0.75614367
Tn+1 = 1.2000      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.85066163    (0.01732829)
Xn+1[1] = -0.72326786   (-0.02882341)
Tn = 1.2000
Xn[0] = 0.83333333
Xn[1] = -0.69444444
```

Рисунок 9

```
Tn+1 = 1.8000      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.56326531    (0.00770975)
Xn+1[1] = -0.31720117   (-0.00855919)
Tn = 1.8000
Xn[0] = 0.55555556
Xn[1] = -0.30864198
Tn+1 = 1.8500      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.54783951    (0.00729897)
Xn+1[1] = -0.30006859   (-0.00788451)
Tn = 1.8500
Xn[0] = 0.54054054
Xn[1] = -0.29218408
Tn+1 = 1.9000      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.53323594    (0.00692015)
Xn+1[1] = -0.28428721   (-0.00727890)
Tn = 1.9000
Xn[0] = 0.52631579
Xn[1] = -0.27700831
Tn+1 = 1.9500      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.51939058    (0.00657007)
Xn+1[1] = -0.26971862   (-0.00673374)
Tn = 1.9500
Xn[0] = 0.51282051
Xn[1] = -0.26298488
Tn+1 = 2.0000      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.50624589    (0.00624589)
Xn+1[1] = -0.25624168   (-0.00624168)
```

Рисунок 10

Из рисунков 9 и 10 можно сделать вывод, что наибольшее значение локальной погрешности для шага интегрирования = 0.05 для X[0] = 0.022619, для X[1] =-0.00624168.

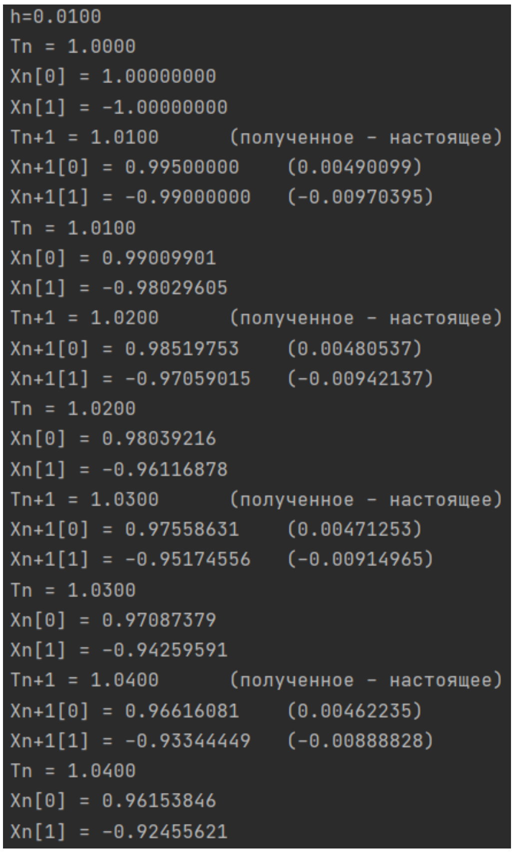
```
h=0.0250
Tn = 1.0000
Xn[0] = 1.00000000
Xn[1] = -1.00000000
Tn+1 = 1.0250      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.98750000    (0.01189024)
Xn+1[1] = -0.97500000   (-0.02318560)
Tn = 1.0250
Xn[0] = 0.97560976
Xn[1] = -0.95181440
Tn+1 = 1.0500      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.96371208    (0.01133112)
Xn+1[1] = -0.92859941   (-0.02156993)
Tn = 1.0500
Xn[0] = 0.95238095
Xn[1] = -0.90702948
Tn+1 = 1.0750      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.94104308    (0.01081053)
Xn+1[1] = -0.88543354   (-0.02010093)
Tn = 1.0750
Xn[0] = 0.93023256
Xn[1] = -0.86533261
Tn+1 = 1.1000      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.91941590    (0.01032499)
Xn+1[1] = -0.84520860   (-0.01876232)
Tn = 1.1000
Xn[0] = 0.90909091
Xn[1] = -0.82644628
```

Рисунок 11

```
Tn+1 = 1.9250      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.52285319    (0.00337267)
Xn+1[1] = -0.27336346   (-0.00350345)
Tn = 1.9250
Xn[0] = 0.51948052
Xn[1] = -0.26986001
Tn+1 = 1.9500      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.51610727    (0.00328676)
Xn+1[1] = -0.26635533   (-0.00337046)
Tn = 1.9500
Xn[0] = 0.51282051
Xn[1] = -0.26298488
Tn+1 = 1.9750      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.50953320    (0.00320409)
Xn+1[1] = -0.25961328   (-0.00324411)
Tn = 1.9750
Xn[0] = 0.50632911
Xn[1] = -0.25636917
Tn+1 = 2.0000      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.50312450    (0.00312450)
Xn+1[1] = -0.25312399   (-0.00312399)
Tn = 2.0000
Xn[0] = 0.50000000
Xn[1] = -0.25000000
Tn+1 = 2.0250      (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.49687500    (0.00304784)
Xn+1[1] = -0.24687500   (-0.00300974)
```

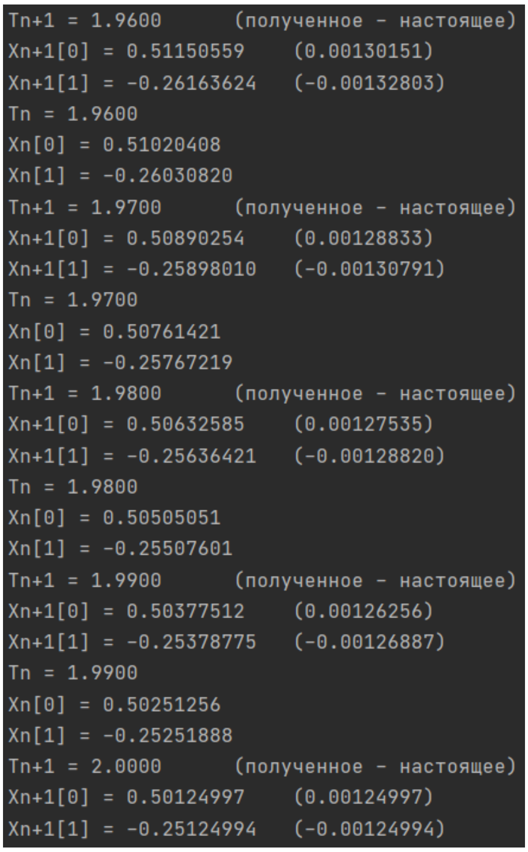
Рисунок 12

Из рисунка 7 и 8 для шага интегрирования = 0.025 видно, что максимальная локальная погрешность для X[0] =0.011890, а для X[1] = -0.003009.



```
h=0.0100
Tn = 1.0000
Xn[0] = 1.00000000
Xn[1] = -1.00000000
Tn+1 = 1.0100       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.99500000    (0.00490099)
Xn+1[1] = -0.99000000   (-0.00970395)
Tn = 1.0100
Xn[0] = 0.99009901
Xn[1] = -0.98029605
Tn+1 = 1.0200       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.98519753    (0.00480537)
Xn+1[1] = -0.97059015   (-0.00942137)
Tn = 1.0200
Xn[0] = 0.98039216
Xn[1] = -0.96116878
Tn+1 = 1.0300       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.97558631    (0.00471253)
Xn+1[1] = -0.95174556   (-0.00914965)
Tn = 1.0300
Xn[0] = 0.97087379
Xn[1] = -0.94259591
Tn+1 = 1.0400       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.96616081    (0.00462235)
Xn+1[1] = -0.93344449   (-0.00888828)
Tn = 1.0400
Xn[0] = 0.96153846
Xn[1] = -0.92455621
```

Рисунок 13



```
Tn+1 = 1.9600       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.51150559    (0.00130151)
Xn+1[1] = -0.26163624   (-0.00132803)
Tn = 1.9600
Xn[0] = 0.51020408
Xn[1] = -0.26030820
Tn+1 = 1.9700       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.50890254    (0.00128833)
Xn+1[1] = -0.25898010   (-0.00130791)
Tn = 1.9700
Xn[0] = 0.50761421
Xn[1] = -0.25767219
Tn+1 = 1.9800       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.50632585    (0.00127535)
Xn+1[1] = -0.25636421   (-0.00128820)
Tn = 1.9800
Xn[0] = 0.50505051
Xn[1] = -0.25507601
Tn+1 = 1.9900       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.50377512    (0.00126256)
Xn+1[1] = -0.25378775   (-0.00126887)
Tn = 1.9900
Xn[0] = 0.50251256
Xn[1] = -0.25251888
Tn+1 = 2.0000       (полученное - настоящее)
Xn+1[0] = 0.50124997    (0.00124997)
Xn+1[1] = -0.25124994   (-0.00124994)
```

Рисунок 14

Из рисунка 7 и 8 для шага интегрирования = 0.025 видно, что максимальная локальная погрешность для X[0] =0.004900, а для X[1] =-0.001249.

Составлю таблицу зависимости X[1] от T (таблица 1).

Таблица 1

n	h_n	T	i от X	M_n = X_i(полученное) – X_i(реальное)	$\frac{M_{n-1}}{M_n}$	$\frac{h_{n-1}}{h_n}$
1	0.100	2	1	-0.012428		
2	0.050	2	1	-0.006241	1,99	2
3	0.025	2	1	-0.003009	2,07	2
4	0.010	2	1	-0.001249	2,4	2,5
5	0.100	1.1	1	0.040909		
6	0.050	1.1	1	0.022619	1,81	2
7	0.025	1.1	1	0.011890	1,91	2
8	0.010	1.1	1	0.004900	2,42	2,5

Метод Эйлера-Коши является методом второго порядка точности. Следовательно, локальная погрешность этого метода должна быть прямо пропорциональна величине $h^3 * y''' = h^3 * \left(\frac{1}{t}\right)''' = h^3 * \left(\frac{1}{t}\right)''' = \ h^3 * \frac{-6}{t^4}$

Из таблицы 1 и рисунков 7-14 можно сделать вывод, что для вектора X погрешность первой компоненты прямо пропорциональна h^3*y’’’. А для вектора X второй компоненты также прямо пропорциональна h^3*y’’’.

Вывод: в ходе выполнения работы были получены результаты решения дифференциального уравнения с помощью подпрограммы RKF45 и метода Эйлера-Коши. Было произведено сравнение полученных результатов с точным значением и оказалось, что подпрограмма справляется лучше справляется лучше, так как она обеспечивает пятый порядок точности, в отличии от метода Эйлера-Коши, который является методом второго порядка точности.

Было исследовано влияние величины шага интегрирования h_{int} на величины локальной и глобальной погрешности. Нельзя однозначно утверждать, что уменьшение шага интегрирования будет приводить к уменьшению глобальной погрешности, так как исходя из полученных результатов при уменьшении шага интегрирования сначала было уменьшение глобальной погрешности, а потом увеличение. Что касается локальной погрешности, то было выявлено, что при уменьшении шага интегрирования h = 0.1 -> h = 0.025, локальная погрешность уменьшается.

Приложение 1

```
#include <ios>
#include <windows.h>
#include "rkf45.h"


//Параметры для решения
const int n = 2;
double T = 1; //начало промежутка
double Tout = 2; //конец промежутка
double X[] = {1, 2}; //массив из двух уравнений
double actualX[n]; //значение X

//Параметры для решения методом Эйлера-Коши
double h = 0.1; //Шаг

//Параметры для решения методом RKF45
double RELERR = 0.00001; //относительная погрешность
double ABSERR = 0.00001; //абсоляютная погрешность
int IFLAG = 1;
double WORK[15];
int IWORK[5];

//Реальное решение
void ActualSolution(double T, double *actualX) {...}

//Восстановление занчений
void reload() {...}

void Fun(double T, double *X, double *DX) {...}

//Решение + вывод результатов с помощью подпрограммы RKF45
void RKF()  {...}
//Метод Эйлера-Коши
void CauchyEuler(bool RELERR_FLAG) {
    double curX[n];
    double intermediateX[n];
    double DX[n];
    double intermediateDX[n];

    for (; T < Tout; T += h) {
        for (int i = 0; i < n; i++) {...}
        if (RELERR_FLAG) {
            ActualSolution(T, curX);
        }
        Fun(T, curX, DX);
        for (int i = 0; i < n; i++) {...}

        Fun( T: T + h, intermediateX, intermediateDX);
        for (int i = 0; i < n; i++) {...}

        if (RELERR_FLAG) {
            printf( _Format: "Tn = %.4f\n", T);
            for (int i = 0; i < n; i++) {...}
            printf( _Format: "Tn+1 = %.4f\n", T + h);
            ActualSolution( T: T + h, curX);
            for (int i = 0; i < n; i++) {...}
        }
    }
}
```

```
int main() {
    SetConsoleOutputCP(CP_UTF8);

    //Решение RKF45
    reload();
    RKF45(Fun, n, X, &T, &Tout, &RELERR, &ABSERR, &IFLAG, WORK, IWORK);
    printf("\nРешение через программу RKF45\n");
    printf("Tout = %lf\nRELERR = %lf\nABSERR = %lf\n", Tout, RELERR, ABSERR);
    for (int i = 0; i < n; i++) {...}

    //Решение методом Эйлера-Коши
    reload();
    CauchyEuler(false);
    printf("Решение методом Эйлера-Коши\n");
    printf("Tout = %lf\nh = %lf\n", Tout, h);
    for (int i = 0; i < n; i++) {...}


    reload();
    printf("\nh=%lf\t\n", h);
    CauchyEuler(true);

    return 0;
}
```