**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ**

**Кафедра вычислительной математики**

**Отчёт**

**Лабораторная работа №1**

“ Интерполирование функций”

Вариант № 12

Снежко Льва Владимировича

студента 3 курса, 3 группы

специальности «Информатика»

дисциплина «Численные методы»

Преподаватель: Будник А.М.

Минск, 2025

Содержание:

Постановка задачи...................................................................................................3

Алгоритм решения..................................................................................................4

Листинг программы.................................................................................................6

Результат и его анализ.............................................................................................8

**Постановка задачи**

Рассмотрим набор различный точек на отрезке [a, b]:

, .

,

Требуется восстановить значение функции в других точках :

[a, b] = [], где

= [j = 12 – номер варианта] = .

Таким образом имеем:

[a, b] = [0.7, 1.7]

Необходимо интерполировать эту функцию:

1. Многочленом Ньютона на равномерной сетке;
2. Многочленом Ньютона на Чебышёвской сетке;
3. Кубическим сплайном;
4. Методом наименьших квадратов.

Для каждого из методов необходимо:

* Вычислить значения интерполяционного многочлена в точках ;
* Вычислить остаток интерполирования в точках ;
* Вычислить истинную погрешность ;
* Сравнить и проанализировать полученные результаты.

**Алгоритм решения**

1. **Интерполирование многочленом Ньютона на равномерной сетке**

Пусть

*где*

*, т.е.*

3 точки восстановления:

,

*,*

Интерполяционный многочлен в форме Ньютона будем искать в следующем виде:

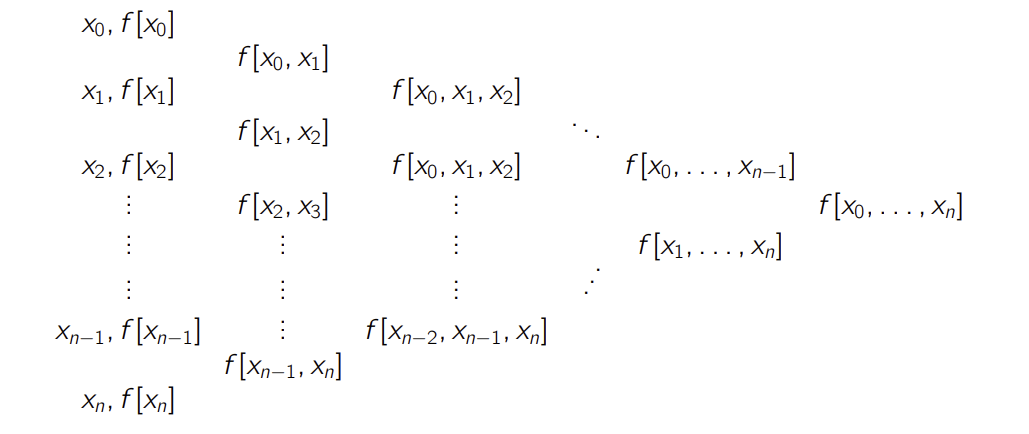
,

где ,

Коэффициенты ИМ удобно вычислять по определению разделённых разностей:

,

путём построения треугольной таблицы следующего вида:



Остаток интерполирования в точках вычислим по следующей формуле:

Истинную погрешность вычислим так:

)

**Листинг кода**

%pip install tabulate

%pip install sympy

import numpy as np

import math

from tabulate import tabulate

import matplotlib.pyplot as plt

import pandas as pd

import sympy as sp

j = 12

n = 10

alpha\_j = 0.1 + 0.05\*j

h = 1/n

def f(x):

    return alpha\_j \* math.exp(x) + (1 - alpha\_j) \* math.sin(x)

# Шаг 1. Построим исходную таблицу

x\_vals = np.array([alpha\_j + i \* h for i in range(n+1)])

f\_vals = np.array([f(x\_) for x\_ in x\_vals])

x\_star = np.array([x\_vals[0] + 2/3\*h, x\_vals[n // 2] / 2 + 0.5 \* h, x\_vals[-1] - 1/3\*h])

f\_star = np.array([f(x\_) for x\_ in x\_star])

print(tabulate(zip(x\_vals, y\_vals), headers=['x', 'f(x)']))

print('\nСпециальные точки')

print(tabulate(zip(x\_star, f\_star), headers=['x\*', 'f(x\*)']))

# Таблица значений функции

table = pd.DataFrame({"x\_i": x\_vals, "f(x\_i)": f\_vals})

table\_transposed = table.T

# Точки для проверки интерполяции

x\_star1 = x\_star[0]

x\_star2 = x\_star[1]

x\_star3 = x\_star[2]

f\_x\_star = f\_star[0]

f\_x\_star2 = f\_star[1]

f\_x\_star3 = f\_star[2]

def compute\_newton\_coefficients(x\_vals, y\_vals):

"""

Возвращает список коэффициентов интерполяционного многочлена Ньютона

с использованием рекурсивного определения разделённых разностей.

"""

n = len(x\_vals)

# Создаём таблицу размером n x n

dd\_table = [y\_vals.copy()] # f[x\_i]

for level in range(1, n):

prev\_column = dd\_table[-1]

curr\_column = []

for i in range(n - level):

numerator = prev\_column[i + 1] - prev\_column[i]

denominator = x\_vals[i + level] - x\_vals[i]

curr\_column.append(numerator / denominator)

dd\_table.append(curr\_column)

# Коэффициенты Ньютона — это верхние элементы каждого столбца

return [dd\_table[i][0] for i in range(n)]

newton\_coeffs = compute\_newton\_coefficients(x\_vals, f\_vals)

def newton\_interpolation(x\_vals, y\_vals, x, coef):

"""

Вычисляет значение интерполяционного многочлена Ньютона в точке x

с использованием рекурсивной формулы:

P\_{n+1}(x) = P\_n(x) + alpha\_{n+1} \* omega\_{n+1}(x)

"""

result = coef[0]

omega = 1.0

for i in range(1, len(coef)):

omega \*= (x - x\_vals[i - 1])

result += coef[i] \* omega

return result

P\_x\_star = newton\_interpolation(x\_vals, f\_vals, x\_star1, newton\_coeffs)

P\_x\_star2 = newton\_interpolation(x\_vals, f\_vals, x\_star2, newton\_coeffs)

P\_x\_star3 = newton\_interpolation(x\_vals, f\_vals, x\_star3, newton\_coeffs)

# Результаты интерполяции

data = {

"Точка": ["x\*", "x\*\*", "x\*\*\*"],

"Значение x": [x\_star1, x\_star2, x\_star3],

"f(x)": [f\_x\_star, f\_x\_star2, f\_x\_star3],

"P(x) (полином)": [P\_x\_star, P\_x\_star2, P\_x\_star3]

}

df = pd.DataFrame(data)

# Производная (n+1)-го порядка

x = sp.Symbol('x')

f\_sym = alpha\_j \* sp.exp(x) + (1 - alpha\_j) \* sp.sin(x)

f\_derivative = sp.diff(f\_sym, x, n + 1)

# Максимум абсолютного значения производной на отрезке [0.7, 1.7]

f\_derivative\_abs = sp.lambdify(x, sp.Abs(f\_derivative), 'numpy')

x\_test = np.linspace(0.7, 1.7, 1000)

M\_max = np.max(f\_derivative\_abs(x\_test))

# Истинная погрешность

r\_x\_star = f\_x\_star - P\_x\_star

r\_x\_star2 = f\_x\_star2 - P\_x\_star2

r\_x\_star3 = f\_x\_star3 - P\_x\_star3

# Оценка погрешности по неравенству

factorial = math.factorial(n + 1)

x\_stars = [x\_star1, x\_star2, x\_star3]

r\_x\_stars = [r\_x\_star, r\_x\_star2, r\_x\_star3]

error\_bound\_stars = []

for x\_val in x\_stars:

prod\_term = np.prod([abs(x\_val - xi) for xi in x\_vals])

error\_bound = M\_max / factorial \* prod\_term

error\_bound\_stars.append(error\_bound)

# Проверка выполнения неравенства

is\_error\_bound\_stars\_valid = [

abs(r\_x\_stars[i]) <= error\_bound\_stars[i] for i in range(3)

]

# Таблица ошибок

error\_table = pd.DataFrame({

"Точка": ["x\*", "x\*\*", "x\*\*\*"],

"Значение x": [x\_star1, x\_star2, x\_star3],

"r истинная": [abs(r) for r in r\_x\_stars],

"оценка погрешности": error\_bound\_stars,

"M = max|f^(n+1)(x)|": [M\_max] \* 3,

"Неравенство выполняется?": is\_error\_bound\_stars\_valid

})

# Вывод таблиц

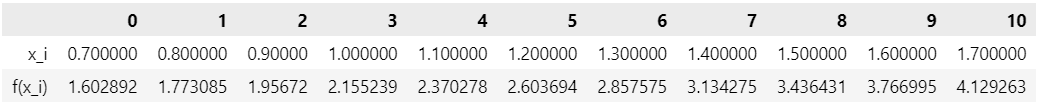
display(table\_transposed)

display(df)

display(error\_table)

**Результаты**

Таблица значений:



|  | **Точка** | **Значение x** | **f(x)** | **P(x) (полином)** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 | x\* | 0.766667 | 1.714927 | 1.714927 |
| 1 | x\*\* | 0.650000 | 1.522435 | 1.522435 |
| 2 | x\*\*\* | 1.666667 | 4.004765 | 4.004765 |

|  | **Точка** | **Значение x** | **r истинная** | **оценка погрешности** | **M = max|f^(n+1)(x)|** | **Неравенство выполняется?** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 | x\* | 0.766667 | 1.021405e-13 | 1.343614e-13 | 2.78765 | True |
| 1 | x\*\* | 0.650000 | 3.516742e-12 | 4.688495e-12 | 2.78765 | True |
| 2 | x\*\*\* | 1.666667 | 2.433609e-13 | 2.863766e-13 | 2.78765 | True |

Коэффициенты интерполяционного многочлена (разделенные разности):

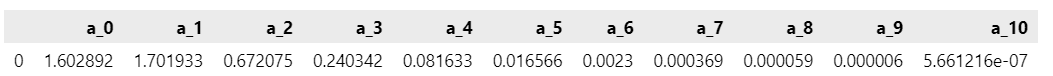
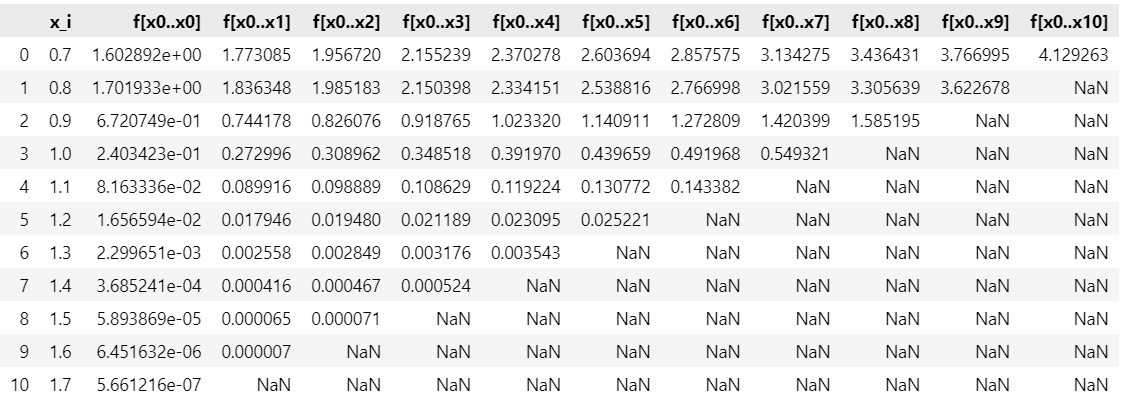


Таблица разделённых разностей



**Анализ**

Порядок не превышает погрешности интерполяции в контрольных точках. Видно, что погрешность возрастает в точках, близких к краям отрезка и имеет наиболее точное значение в точке находящейся близко к середине отрезка. Разница погрешностей в зависимости от точки восстановления связана с возрастанием многочлена (x) и расположением контрольной точки относительно ближайшего узла.

( = -0.000002;

( = 0.000064;

( = 0.000123.

1. **Интерполирование многочленом Ньютона на Чебышёвской сетке**

Пусть теперь

*где*

*i = ,*

*a = 0,5,*

*b = 1,5,*

*n = 10, т. е.*

*i = ,*

Точки восстановления те же:

* ,
* *,*

Остаток интерполирования в точках оценим по следующим формулам:

,

,

n = 10,

a = 0.5, b = 1.5.

**Листинг кода**

public class ChebyshevInterpolation {

static final int N = 10;

static final double A = 0.5, B = 1.5;

static final double[] X\_VALUES = chebyshevNodes();

static final double[] Y\_VALUES = new double[N + 1];

final static double X\_1 = 0.5 + 0.1 \* 2 / 3;

final static double X\_2 = 1.0 + 0.1 \* 0.5;

final static double X\_3 = 1.5 - 0.1 \* 1 / 3;

static final double[] TEST\_POINTS = {X\_1, X\_2, X\_3};

static final double MAX\_DERIATIVE\_ABS\_VALUE = findAbsMaxDeriativeValue();

public static void main(String[] args) {

double value;

System.out.println("\nТаблица значений функции:");

printTableHeader();

for (int i = 0; i <= 10; i++) {

value = calculateF(X\_VALUES[i]);

Y\_VALUES[i] = value;

printFunctionValues(i, X\_VALUES[i], value);

}

System.out.println("---------------------------------\n");

double[][] coeffs = dividedDifferences(X\_VALUES, Y\_VALUES);

printCoefficients(coeffs);

System.out.println("\nИнтерполяция в контрольных точках:");

printInterpolationHeader();

for (double x : TEST\_POINTS) {

printInterpolationResults(x, coeffs);

}

System.out.println("------------------------------------------------------------\n");

System.out.println("Оценка интерполирующего остатка |r\_n| V\_1:");

System.out.println("----------------------------------");

System.out.println("| x\*, x\*\*, x\*\*\* | r\_n(x) |");

System.out.println("----------------------------------");

for (double x : TEST\_POINTS) {

printRemainder\_V1(x);

}

System.out.println("----------------------------------------------\n");

System.out.println("Оценка интерполирующего остатка |r\_n| V\_2:");

System.out.println("----------------------------------");

System.out.println("| x\*, x\*\*, x\*\*\* | r\_n(x) |");

System.out.println("----------------------------------");

for (double x : TEST\_POINTS) {

printRemainder\_V2(x);

}

System.out.println("----------------------------------\n");

printDividedDifferencesTable(coeffs);

}

public static double[] chebyshevNodes() {

double[] nodes = new double[N + 1];

for (int i = 0; i <= N; i++) {

nodes[i] = (A + B) / 2 + (B - A) / 2 \* Math.cos((2 \* i + 1) \* Math.PI / (2 \* (N + 1)));

}

Arrays.sort(nodes);

return nodes;

}

public static double[][] dividedDifferences(double[] x, double[] y) {

int n = x.length;

double[][] dividedDifferencesMatrix = new double[n][n];

double numerator, denominator;

for (int i = 0; i < n; i++) {

dividedDifferencesMatrix[i][0] = y[i];

}

for (int j = 1; j < n; j++) {

for (int i = 0; i < n - j; i++) {

numerator = (dividedDifferencesMatrix[i + 1][j - 1] - dividedDifferencesMatrix[i][j - 1]);

denominator = (x[i + j] - x[i]);

dividedDifferencesMatrix[i][j] = numerator / denominator;

}

}

return dividedDifferencesMatrix;

}

public static double interpolate(double[] coeffs, double value) {

double result = coeffs[0];

double omega = 1.0;

for (int i = 1; i < coeffs.length; i++) {

omega \*= (value - X\_VALUES[i - 1]);

result += coeffs[i] \* omega;

}

return result;

}

static double calculateF(double x) {

return 0.5 \* Math.pow(Math.E, x) + 0.5 \* Math.sin(x);

}

static double estimateR\_V2(double newX) {

int n = X\_VALUES.length;

double[] extendedY = new double[n + 1];

double[] extendedX = new double[n + 1];

for (int i = 0; i < n; i++) {

extendedX[i] = X\_VALUES[i];

extendedY[i] = Y\_VALUES[i];

}

extendedX[n] = newX;

extendedY[n] = calculateF(newX);

double[][] extentedDividedDifferencesMatrix = dividedDifferences(extendedX, extendedY);

double f = extentedDividedDifferencesMatrix[0][n];

double temp = 2 \* Math.pow(((B - A) / 4), N + 1);

return temp \* f;

}

static double estimateR\_V1() {

double f = MAX\_DERIATIVE\_ABS\_VALUE / factorial(N + 1);

double temp = 2 \* Math.pow(((B - A) / 4), N + 1);

return temp \* f;

}

public static long factorial(int n) {

long result = 1;

for (int i = 2; i <= n; i++) {

result \*= i;

}

return result;

}

public static double calculateDerivative(double x) {

if (N + 1 % 4 == 0) return 0.5 \* Math.exp(x) + 0.5 \* Math.sin(x);

if (N + 1 % 4 == 1) return 0.5 \* Math.exp(x) + 0.5 \* Math.cos(x);

if (N + 1 % 4 == 2) return 0.5 \* Math.exp(x) - 0.5 \* Math.sin(x);

return 0.5 \* Math.exp(x) - 0.5 \* Math.cos(x);

}

public static double findAbsMaxDeriativeValue() {

double maxDerivative = Double.NEGATIVE\_INFINITY;

for (double x: X\_VALUES) {

maxDerivative = Math.max(maxDerivative, Math.abs(calculateDerivative(x)));

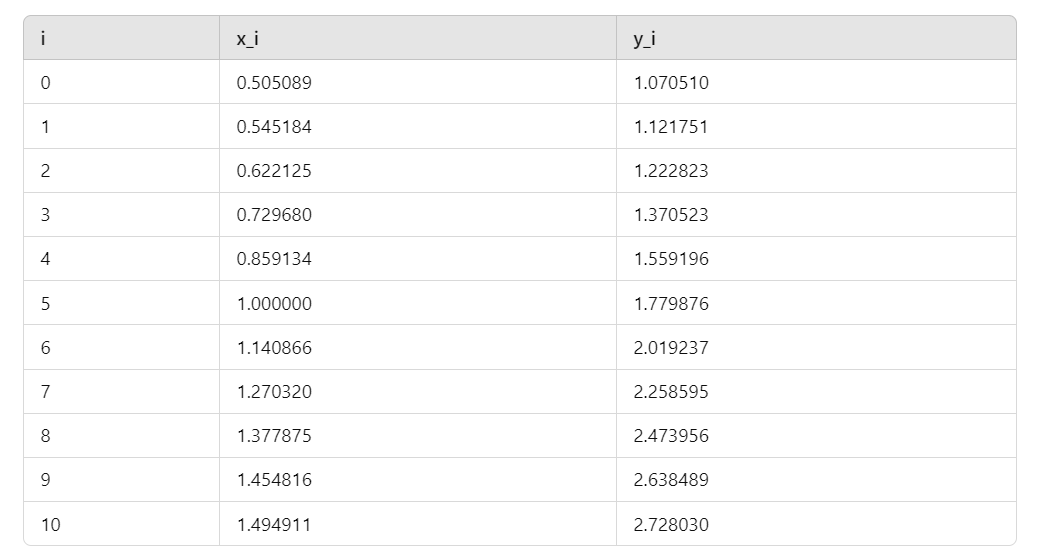
}

return maxDerivative;

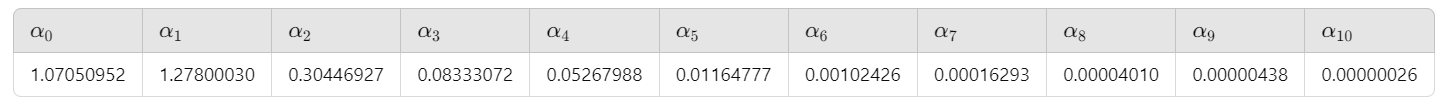
}

**Результаты**

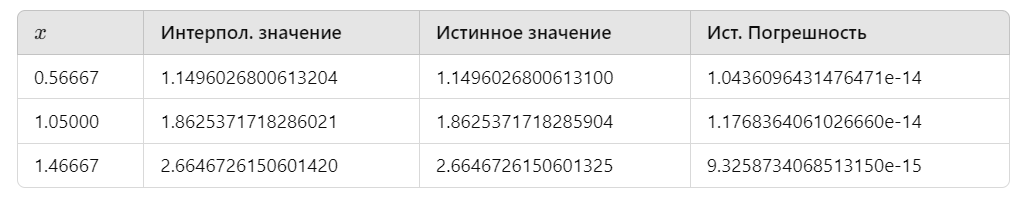
Таблица значений:



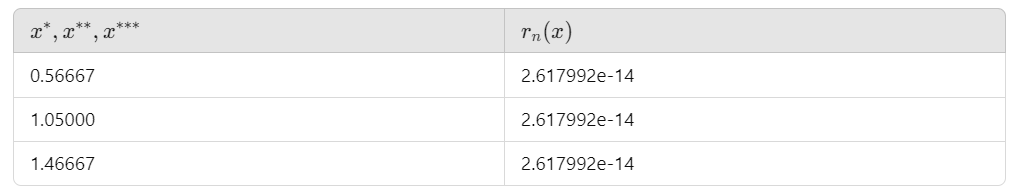
Коэффициенты интерполяционного многочлена (разделенные разности):



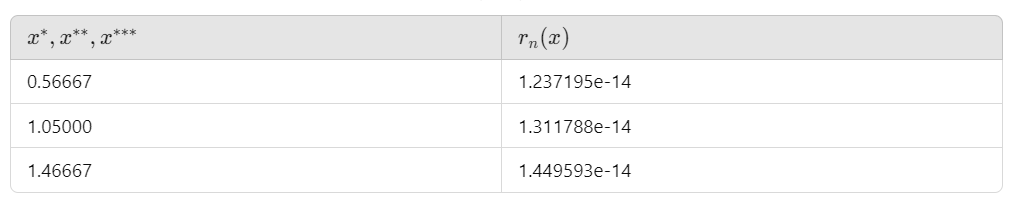
Интерполяция в контрольных точках:



Оценка интерполирующего остатка (v. 1):



Оценка интерполирующего остатка (v. 2):



**Анализ**

Нетрудно видеть, что для не превосходит оценки сверху. Также можно заметить, что истинная погрешность в точках , на Чебышевской сетке улучшилась по сравнению с равномерной сеткой, в то время как в точке ухудшилась. Это также объясняется поведением многочлена и расположением контрольной точки относительно ближайшего узла.

= -4.253583935546855E-7;

= -2.972666913104138E-7;

= -4.0954471577702075E-7.

Как видно, многочлен в контрольных точках имеет одинаковый порядок, давайте проанализируем расположение точек восстановления относительно ближайших узлов:

𝛿1 = 0.02148266434392576;

𝛿2 = 0.04999999999999982;

𝛿3 = 0.011850668989407342.

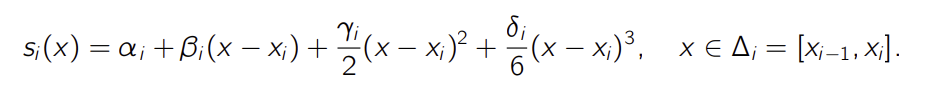
Наименьшая погрешность наблюдается в точке , для которой контрольная точка находится ближе остальных к ближайшему узлу сетки, что снижает интерполяционную ошибку.

Наибольшая погрешность соответствует точке , где 𝛿 — самая большая из рассмотренных. Это подтверждает тот факт, что чем дальше контрольная точка от узла, тем выше ошибка интерполяции.

1. **Интерполирование с помощью кубического сплайна**

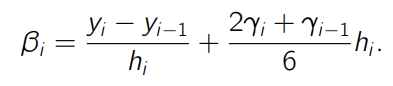
Будем строить кубический сплайн для равномерной сетки.

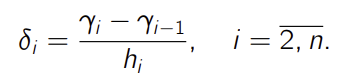
Каждый «кусок» сплайна будем искать в виде:



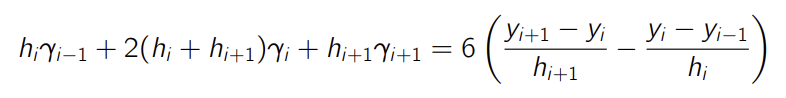
Коэффициенты вычисляем следующим образом:







Для нахождения необходимо решить СЛАУ (i = ):



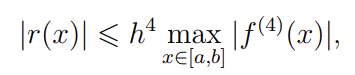
методом прогонки.

В качестве граничных условий берём:

*,*

В нашей задаче мы имеем фиксированное h = 0.1.

Погрешность интерполирования естественным кубическим сплайном на всем отрезке интерполирования может быть оценена следующей константой:



**Листинг кода**

public class CubicSpline {

static int N = 10;

static double H\_VALUE = 0.1;

final static double X\_1 = 0.5 + 0.1 \* 2 / 3;

final static double X\_2 = 1.0 + 0.1 \* 0.5;

final static double X\_3 = 1.5 - 0.1 \* 1 / 3;

final static double[] X\_VALUES = {0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5};

static double[] Y\_VALUES = new double[N + 1];

static double[] X\_TEST = {X\_1, X\_2, X\_3};

static double[] alphas;

static double[] bettas;

static double[] deltas;

static double[] gammas;

public static void main(String[] args) {

for (int i = 0; i <= N; i++) {

Y\_VALUES[i] = calculateF(X\_VALUES[i]);

}

calculateCoeffs();

double realValue, interpolatedValue;

for (int i = 0; i < X\_TEST.length; i++) {

realValue = calculateF(X\_TEST[i]);

interpolatedValue = calcSpline(X\_TEST[i]);

System.out.println("x\* " + X\_TEST[i]);

System.out.println("Истинное значение f(x\*): " + realValue);

System.out.println("Интерполированное значение: " + interpolatedValue);

System.out.println("Истинная погрешность " + Math.abs(realValue - interpolatedValue));

System.out.println("||f - s||: " + Math.pow(H\_VALUE,4) \* findAbsMaxDeriativeValue());

}

}

static double calculateF(double x) {

return 0.5 \* Math.exp(x) + 0.5 \* Math.sin(x);

}

static void calculateGammas(double[] values) {

double[] a = new double[N];

double[] b = new double[N];

double luDiagCoef = H\_VALUE;

double mainDiagCoef = 4 \* H\_VALUE;

double temp1, temp2;

for (int i = 1; i < N; i++) {

temp1 = 6.0 \* ((values[i + 1] - values[i]) - (values[i] - values[i - 1])) / H\_VALUE;

temp2 = (luDiagCoef \* a[i - 1] + mainDiagCoef);

a[i] = -luDiagCoef / temp2;

b[i] = (temp1 - luDiagCoef \* b[i - 1]) / temp2;

}

for (int i = N - 1; i > 0; i--) {

gammas[i] = a[i] \* gammas[i + 1] + b[i];

}

gammas[0] = 0.5 \* Math.exp(0.5) - 0.5 \* Math.sin(0.5);

gammas[N] = 0.5 \* Math.exp(1.5) - 0.5 \* Math.sin(1.5);

}

public static double calculateDerivative(double x, int n) {

if (n % 4 == 0) return 0.5 \* Math.exp(x) + 0.5 \* Math.sin(x);

if (n % 4 == 1) return 0.5 \* Math.exp(x) + 0.5 \* Math.cos(x);

if (n % 4 == 2) return 0.5 \* Math.exp(x) - 0.5 \* Math.sin(x);

return 0.5 \* Math.exp(x) - 0.5 \* Math.cos(x);

}

public static double findAbsMaxDeriativeValue() {

int n = 4;

double maxDerivative = Double.NEGATIVE\_INFINITY;

for (double x: X\_VALUES) {

maxDerivative = Math.max(maxDerivative, Math.abs(calculateDerivative(x, n)));

}

return maxDerivative;

}

static void calculateCoeffs() {

alphas = Y\_VALUES;

bettas = new double[N + 1];

gammas = new double[N + 1];

deltas = new double[N + 1];

gammas[0] = gammas[N] = 0;

calculateGammas(Y\_VALUES);

for (int i = N; i > 0; i--) {

deltas[i] = ((gammas[i] - gammas[i - 1]) / H\_VALUE);

bettas[i] = (Y\_VALUES[i] - Y\_VALUES[i - 1]) / H\_VALUE + (2 \* gammas[i] + gammas[i - 1]) \* (H\_VALUE / 6);

}

}

static double calcSpline(double xValue) {

double x\_i, alpha, betta, gamma, delta, t;

for (int i = 1; i <= N; i++) {

if (xValue <= X\_VALUES[i] && xValue >= X\_VALUES[i - 1]) {

x\_i = X\_VALUES[i];

t = xValue - x\_i;

alpha = alphas[i];

betta = bettas[i];

gamma = gammas[i];

delta = deltas[i];

return alpha + betta \* t + 0.5 \* gamma \* Math.pow(t, 2) + (1.0 / 6) \* delta \* Math.pow(t, 3);

}

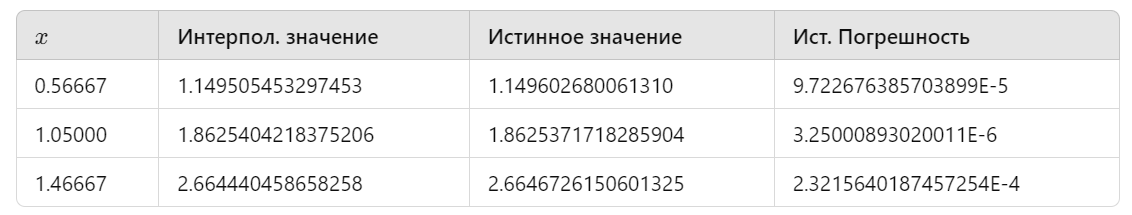
}

return Double.NaN;

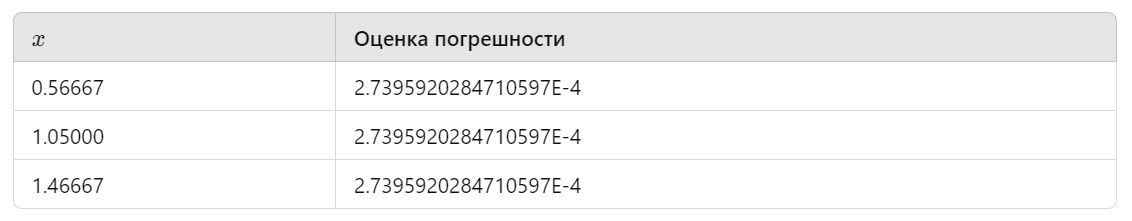
}

}

**Результаты**



Оценка погрешности:

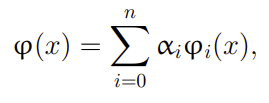


**Анализ**

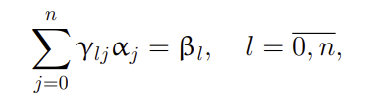
Различия в погрешностях объясняются поведением исходной функции и свойствами кубического сплайна. Истинная погрешность зависит от локальных особенностей функции. Вблизи быстрорастущей экспоненты (правая часть интервала) погрешность стремится к верхней оценке, тогда как в середине и начале интервала она значительно меньше.

1. **Интерполирование с помощью метода наименьших квадратов**

Будем строить многочлен МНК 5 степени, он имеет следующий вид:

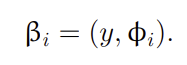
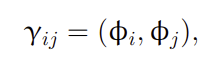
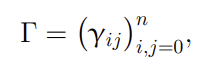


где - является решением системы линейных уравнений:



которая в матричном виде записывается просто как:



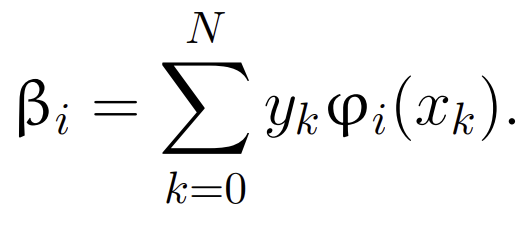
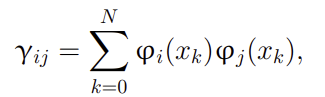


Положим .

Скалярное произведение будем вычислять по формуле:

(u, v) =

Т.е. имеем:



N = 10.

Погрешность будем вычислять по следующей формуле:

**Листинг кода**

public class MNK {

final static double[] X\_VALUES = {0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5};

final static double X\_1 = 0.5 + 0.1 \* 2 / 3;

final static double X\_2 = 1 + 0.1 \* 0.5;

final static double X\_3 = 1.5 - 0.1 \* 1 / 3;

final static double[] TEST\_POINTS = {X\_1, X\_2, X\_3};

static double[] Y\_VALUES = new double[X\_VALUES.length];

static int n = 6;

static int N = 10;

public static void main(String[] args) {

for (int i = 0; i <= N; i++) {

Y\_VALUES[i] = calculateF(X\_VALUES[i]);

}

double[][] gramMatrix = calculateGramMatrix(n);

double[] beta = calculateBeta(n);

double[] alpha = solveSystem(gramMatrix, beta);

System.out.println("Coefficients (alpha): " + Arrays.toString(alpha));

for (double x : TEST\_POINTS) {

double approximatedValue = approximateFunction(alpha, x);

System.out.println("Approximated φ(" + x + ") = " + approximatedValue);

System.out.println("r ист " + (calculateF(x) - approximatedValue));

}

double error = calculateError(alpha);

System.out.println("Approximation error Δ = " + error);

}

private static double[][] calculateGramMatrix(int n) {

double[][] matrix = new double[n][n];

for (int i = 0; i < n; i++) {

for (int j = 0; j < n; j++) {

matrix[i][j] = 0;

for (int k = 0; k <= N; k++) {

matrix[i][j] += phi(i, X\_VALUES[k]) \* phi(j, X\_VALUES[k]);

}

}

}

return matrix;

}

private static double[] calculateBeta(int n) {

double[] beta = new double[n];

for (int i = 0; i < n; i++) {

beta[i] = 0;

for (int k = 0; k <= N; k++) {

beta[i] += Y\_VALUES[k] \* phi(i, X\_VALUES[k]);

}

}

return beta;

}

private static double phi(int i, double x) {

return Math.pow(x, i);

}

private static double calculateF(double x) {

return 0.5 \* Math.exp(x) + 0.5 \* Math.sin(x);

}

private static double[] solveSystem(double[][] A, double[] b) {

int size = A.length;

double[] x = new double[size];

for (int i = 0; i < size; i++) {

int maxRow = i;

for (int k = i; k < size; k++) {

if (Math.abs(A[k][i]) > Math.abs(A[maxRow][i])) {

maxRow = k;

}

}

if (maxRow != i) {

double[] tempA = A[i];

A[i] = A[maxRow];

A[maxRow] = tempA;

double tempB = b[i];

b[i] = b[maxRow];

b[maxRow] = tempB;

}

for (int j = i + 1; j < size; j++) {

double factor = A[j][i] / A[i][i];

for (int k = i; k < size; k++) {

A[j][k] -= factor \* A[i][k];

}

b[j] -= factor \* b[i];

}

}

for (int i = size - 1; i >= 0; i--) {

double sum = 0;

for (int j = i + 1; j < size; j++) {

sum += A[i][j] \* x[j];

}

x[i] = (b[i] - sum) / A[i][i];

}

return x;

}

private static double approximateFunction(double[] alpha, double x) {

double sum = 0;

for (int i = 0; i < alpha.length; i++) {

sum += alpha[i] \* phi(i, x);

}

return sum;

}

private static double calculateError(double[] alpha) {

double error = 0;

for (int k = 0; k <= N; k++) {

double approximation = approximateFunction(alpha, X\_VALUES[k]);

error += Math.pow(Y\_VALUES[k] - approximation, 2);

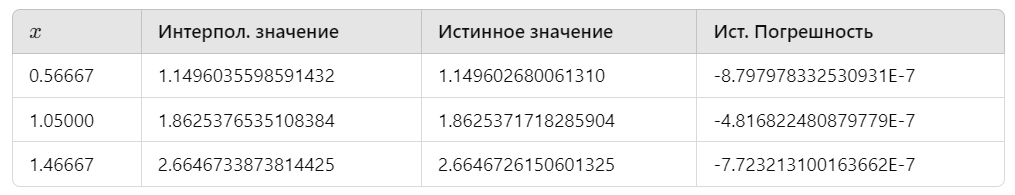
}

return Math.sqrt(error);

}

}

**Результаты**



Оценка погрешности: Δ = 1.5313332717189941E−6.

= [0.499242,1.005162,0.235934,0.019566,0.006303,0.013671].

**Анализ**

Видно, что истинная погрешность для каждой из точек восстановления имеет одинаковый порядок (1e-7) и не превосходит теоретическую погрешность (1e-6).

**Выводы**