

## **Лабораторная работа №4**

Выполнил: Магера Никита Алексеевич

Студент группы 6203-010302D

## Ход выполнения

### Задание 1

В рамках первого задания требуется в классах ArrayTabulatedFunction и LinkedListTabulatedFunction добавить конструкторы, получающие сразу все точки функции в виде массива объектов типа FunctionPoint. Если точек задано меньше двух, или если точки в массиве не упорядочены по значению абсциссы, конструкторы должны выбрасывать исключение IllegalArgumentException. Для этого в классе ArrayTabulatedFunction создадим конструктор ArrayTabulatedFunction, который принимает массив FunctionPoint и выполняет необходимые проверки: сначала проверяет, что количество точек не меньше двух, затем проверяет упорядоченность точек по возрастанию значения X. Если какое-либо из условий нарушено, конструктор выбрасывает исключение IllegalArgumentException с соответствующим сообщением об ошибке. После успешного прохождения проверок конструктор создает внутренний массив для хранения точек с небольшим запасом и копирует в него все переданные точки, устанавливая счетчик точек равным размеру входного массива. Аналогичный конструктор добавляется в класс LinkedListTabulatedFunction.

```
// в классе ArrayTabulatedFunction добавляем массив чисел
public ArrayTabulatedFunction(FunctionPoint[] points) { 2 usages new *
    // проверка на null
    if (points == null) {
        throw new IllegalArgumentException("массив не может быть null");
    }

    // проверка количества точек
    if (points.length < 2) {
        throw new IllegalArgumentException("необходимо минимум 2 точки");
    }

    // создание копий
    pointsCount = points.length;
    this.points = new FunctionPoint[pointsCount + 10]; // с запасом

    // копируем первую точку
    this.points[0] = new FunctionPoint(points[0]);

    // копируем остальные и проверяем упорядоченность
    for (int i = 1; i < pointsCount; i++) {
        // проверка на то, что x[i] > x[i-1] чтобы шли по возрастанию
        if (points[i].getX() <= points[i-1].getX()) {
            throw new IllegalArgumentException("нарушение в точках " + (i-1) + " и " + i );
        }
        // инкапсуляция
        this.points[i] = new FunctionPoint(points[i]);
    }
}
```

Рис. 1

```
// в классе LinkedListTabulatedFunction __конструктор
public void LinkedListTabulatedFunction(FunctionPoint[] points) { no usages new *
    // проверка на null
    if (points == null) {
        throw new IllegalArgumentException("массив не может быть 0");
    }
    // проверка количества точек
    if (points.length < 2) {
        throw new IllegalArgumentException("необходимо минимум 2 точки");
    }
    // проверка упорядоченности
    for (int i = 1; i < points.length; i++) {
        if (points[i].getX() <= points[i-1].getX()) {
            throw new IllegalArgumentException("нарушение в точках " + (i-1) + " и " + i);
        }
    }
    // список из первой пустой головы
    head = new FunctionNode(); // голова списка
    head.setNext(head);
    head.setPrev(head);
    FunctionNode current = head;
    // добавляем все точки в список
    for (FunctionPoint point : points) {
        FunctionNode newNode = new FunctionNode(point);
        // добавляем в конец списка
        newNode.setPrev(current);
        newNode.setNext(head);
        current.setNext(newNode);
        head.setPrev(newNode);
        current = newNode;
        pointsCount++;
    }
}
```

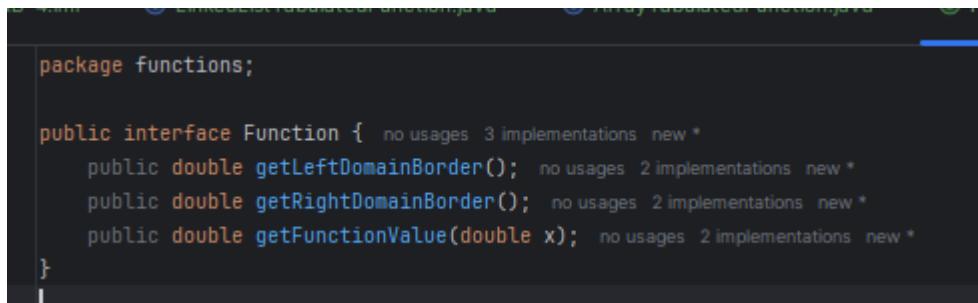
Рис. 2

## Задание 2

Во втором задании в пакете functions создаем интерфейс Function, описывающий функции одной переменной и содержащий следующие методы:

- public double getLeftDomainBorder() – возвращает значение левой границы области определения функции;
- public double getRightDomainBorder() – возвращает значение правой границы области определения функции;
- public double getFunctionValue(double x) – возвращает значение функции в заданной точке.

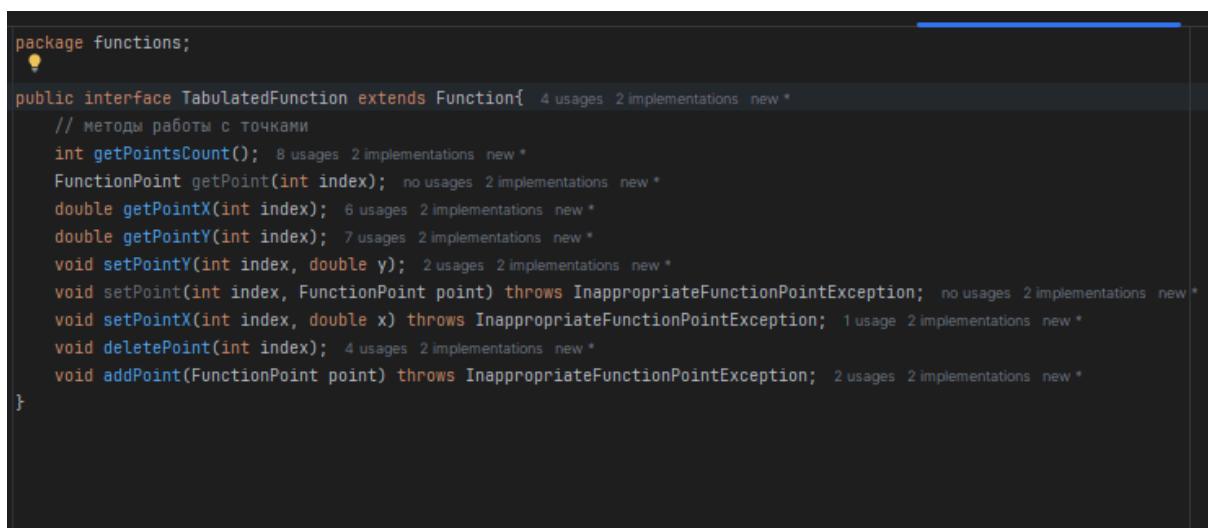
Также эти методы нужно исключить соответственно из интерфейса TabulatedFunction и сделайте так, чтобы он расширял интерфейс Function.(Рис.3-4)



```
package functions;

public interface Function { no usages 3 implementations new *
    public double getLeftDomainBorder(); no usages 2 implementations new *
    public double getRightDomainBorder(); no usages 2 implementations new *
    public double getFunctionValue(double x); no usages 2 implementations new *
}
```

Рис.3



```
package functions;
public interface TabulatedFunction extends Function{ 4 usages 2 implementations new *
    // методы работы с точками
    int getPointsCount(); 8 usages 2 implementations new *
    FunctionPoint getPoint(int index); no usages 2 implementations new *
    double getPointX(int index); 6 usages 2 implementations new *
    double getPointY(int index); 7 usages 2 implementations new *
    void setPointY(int index, double y); 2 usages 2 implementations new *
    void setPoint(int index, FunctionPoint point) throws InappropriateFunctionPointException; no usages 2 implementations new *
    void setPointX(int index, double x) throws InappropriateFunctionPointException; 1 usage 2 implementations new *
    void deletePoint(int index); 4 usages 2 implementations new *
    void addPoint(FunctionPoint point) throws InappropriateFunctionPointException; 2 usages 2 implementations new *
}
```

Рис.4

### Задание 3

В третьем задании создайте пакет functions.basic, в нём должны быть описаны классы ряда функций, заданных аналитически.

- 1) Создать в пакете публичный класс Exp, объекты которого должны вычислять значение экспоненты.
- 2) Создать класс Log, объекты которого должны вычислять значение логарифма по заданному основанию.
- 3) Создать класс TrigonometricFunction, реализующий интерфейс Function и описывающий методы получения границ области определения.
- 4) Создайте наследующие от него публичные классы Sin, Cos и Tan, объекты которых вычисляют, соответственно, значения синуса, косинуса и тангенса.

(Рис 4-9)

```
package functions.basic;
//должен импортировать из Function
import functions.Function;

public class Exp implements Function { no usages new *
    public double getLeftDomainBorder() { 1 usage new *
        return Double.NEGATIVE_INFINITY; // экспонента (не понял сначала что такое посмотрел в интернете)
    }
    public double getRightDomainBorder() { 1 usage new *
        return Double.POSITIVE_INFINITY;
    }

    public double getFunctionValue(double x) { 7 usages new *
        return Math.exp(x); // e^x
    }
}
```

```
package functions.basic;

import functions.Function;

public class Log implements Function { no usages new *
    private double base; // основание логарифма 3 usages

    public Log(double base) { 2 usages new *
        // проверка логарифма(сам не додумался)
        if (base <= 0 || base == 1) {
            throw new IllegalArgumentException("основание логарифма >0 и не равно 1 должно быть");
        }
        this.base = base;
    }
    public double getBase() { no usages new *
        return base;
    }
    public double getLeftDomainBorder() { 1 usage new *
        return 0; // логарифм определен при x > 0
    }
    public double getRightDomainBorder() { 1 usage new *
        return Double.POSITIVE_INFINITY;
    }
    public double getFunctionValue(double x) { 7 usages new *
        if (x <= 0) {
            throw new IllegalArgumentException("Логарифм определен только при x > 0");
        }
        return Math.log(x) / Math.log(base); // loga(x) = ln(x)/ln(a)
    }
}
```

```
package functions.basic;

import functions.Function;

public abstract class TrigonometricFunction implements Function { no usages 3 inheritors new *
    public double getLeftDomainBorder() { 1 usage new *
        return Double.NEGATIVE_INFINITY; // тригонометрические функции определяются
    }
    public double getRightDomainBorder() { 1 usage new *
        return Double.POSITIVE_INFINITY;
    }
    // как я понял нужно делать абстрактным чтобы не было ошибки
    public abstract double getFunctionValue(double x); 7 usages 3 implementations new *
}
```

```
package functions.basic;
//СИНЯС
public class Sin extends TrigonometricFunction { no usages new *
    public double getFunctionValue(double x) { return Math.sin(x); }
}
```

```
package functions.basic;
// косинус
public class Cos extends TrigonometricFunction { no usages new *
    public double getFunctionValue(double x) { new *
        return Math.cos(x);
    }
}

package functions.basic;
// тангенс
public class Tan extends TrigonometricFunction { no usages new *
    public double getFunctionValue(double x) { new *
        return Math.tan(x);
    }
}
```

Рис.4-9

#### Задание 4

В 4 задании создаем пакет functions.meta, в нём будут описаны классы функций, позволяющие комбинировать функции.

- 1) Создаем класс Sum, объекты которого представляют собой функции, являющиеся суммой двух других функций.
- 2) Создаем класс Mult, объекты которого представляют собой функции, являющиеся произведением двух других функций.
- 3) Создаем класс Power, объекты которого представляют собой функции, являющиеся степенью другой функции.
- 4) Создаем класс Scale, объекты которого описывают функции, полученные из исходных функций путём масштабирования вдоль осей координат.
- 5) Создаем класс Shift, объекты которого описывают функции, полученные из исходных функций путём сдвига вдоль осей координат.
- 6) Создаем класс Composition, объекты которого описывают композицию двух исходных функций. (Рис 10-15)

```
va ① Function.java ① TabulatedFunction.java ② Exp.java ② Log.java ② TrigonometricF
package functions.meta;

import functions.Function;

public class Mult implements Function { no usages new *
    // аналогичные наши переменные
    private Function f1, f2; 4 usages
    public Mult(Function f1, Function f2) { 2 usages new *
        this.f1 = f1;
        this.f2 = f2;
    }
    public double getLeftDomainBorder() { new *
        // пересечение областей определения
        return Math.max(f1.getLeftDomainBorder(), f2.getLeftDomainBorder());
    }
    public double getRightDomainBorder() { new *
        // пересечение областей определения
        return Math.min(f1.getRightDomainBorder(), f2.getRightDomainBorder());
    }

    public double getFunctionValue(double x) { new *
        // проверка, что x в области определения обеих функций
        if (x < getLeftDomainBorder() || x > getRightDomainBorder()) {
            throw new IllegalArgumentException("x вне области определения");
        }
        // возвращаем уже само произведение |
        return f1.getFunctionValue(x) * f2.getFunctionValue(x);
    }
}
```

```
package functions.meta;

import functions.Function;

public class Sum implements Function { no usages new *
    // наши переменные
    private Function f1, f2; 4 usages

    public Sum(Function f1, Function f2) { 2 usages new *
        this.f1 = f1;
        this.f2 = f2;
    }
    public double getLeftDomainBorder() { 4 usages new *
        // пересечение областей определения
        return Math.max(f1.getLeftDomainBorder(), f2.getLeftDomainBorder());
    }
    public double getRightDomainBorder() { 4 usages new *
        // пересечение областей определения
        return Math.min(f1.getRightDomainBorder(), f2.getRightDomainBorder());
    }

    public double getFunctionValue(double x) { new *
        // проверка, что x в области определения обеих функций
        if (x < getLeftDomainBorder() || x > getRightDomainBorder()) {
            throw new IllegalArgumentException("x вне области определения"); // исключение в случае не того
        }
        return f1.getFunctionValue(x) + f2.getFunctionValue(x); // возвращаем саму сумму уже
    }
}
```

```
package functions.meta;

import functions.Function;

public class Scale implements Function { no usages new *
    // коэффициенты
    private Function f; 6 usages
    private double scaleX, scaleY; 4 usages

    public Scale(Function f, double scaleX, double scaleY) { 2 usages new *
        this.f = f;
        this.scaleX = scaleX;
        this.scaleY = scaleY;
    }

    public double getLeftDomainBorder() { new *
        // масштабирование области определения
        return f.getLeftDomainBorder() * scaleX;
    }

    public double getRightDomainBorder() { return f.getRightDomainBorder() * scaleX; }

    public double getFunctionValue(double x) { new *
        // обратное масштабирование x, затем масштабирование y
        double originalX = x / scaleX;
        if (originalX < f.getLeftDomainBorder() || originalX > f.getRightDomainBorder()) {
            throw new IllegalArgumentException("x вне области определения"); // исключение
        }
        return f.getFunctionValue(originalX) * scaleY;
    }
}
```

```
package functions.meta;

import functions.Function;

public class Power implements Function { no usages new *
    // значение и число
    private Function f; 4 usages
    private double power; 2 usages

    public Power(Function f, double power) { 2 usages new *
        this.f = f;
        this.power = power;
    }

    public double getLeftDomainBorder() { new *
        // пересечение областей определения
        return f.getLeftDomainBorder();
    }

    public double getRightDomainBorder() { new *
        // пересечение областей определения
        return f.getRightDomainBorder();
    }

    public double getFunctionValue(double x) { new *
        // проверка, что x в области определения обеих функций
        if (x < getLeftDomainBorder() || x > getRightDomainBorder()) {
            throw new IllegalArgumentException("x вне области определения"); // исключение
        }
        return Math.pow(f.getFunctionValue(x), power); // возвращаем число в степени
    }
}
```

```
package functions.meta;

import functions.Function;

public class Shift implements Function { no usages new *
    private Function f; 6 usages
    private double shiftX, shiftY; 4 usages
    public Shift(Function f, double shiftX, double shiftY) { 2 usages new *

        this.f = f;
        this.shiftX = shiftX;
        this.shiftY = shiftY;
    }
    public double getLeftDomainBorder() { return f.getLeftDomainBorder() + shiftX; }
    public double getRightDomainBorder() { return f.getRightDomainBorder() + shiftX; }
    public double getFunctionValue(double x) { new *
        double originalX = x - shiftX;
        if (originalX < f.getLeftDomainBorder() || originalX > f.getRightDomainBorder()) {
            throw new IllegalArgumentException("x вне области определения");// исключения
        }
        return f.getFunctionValue(originalX) + shiftY;
    }
}

package functions.meta;

import functions.Function;

public class Composition implements Function { no usages new *
    private Function outer, inner; 4 usages
    public Composition(Function outer, Function inner) { 2 usages new *

        this.outer = outer;
        this.inner = inner;
    }

    public double getLeftDomainBorder() { new *
        return inner.getLeftDomainBorder();
    }
    public double getRightDomainBorder() { new *
        return inner.getRightDomainBorder();
    }
    public double getFunctionValue(double x) { new *
        if (x < getLeftDomainBorder() || x > getRightDomainBorder()) {
            throw new IllegalArgumentException("x вне области определения");
        }
        double innerValue = inner.getFunctionValue(x);
        // проверка, что innerValue в области определения outer
        if (innerValue < outer.getLeftDomainBorder() || innerValue > outer.getRightDomainBorder()) {
            throw new IllegalArgumentException("значение внутренней функции вне области определения внешней"); // исключение
        }
        return outer.getFunctionValue(innerValue);
    }
}
```

Рис.(10-15)

## Задание 5

В 5 задании в пакете functions создайтъ класс Functions, содержащий вспомогательные статические методы для работы с функциями и сделайтъ так, чтобы в программе вне этого класса нельзя было создать его объект. Класс должен содержать следующие методы (Рис.16)

```
// основные методы 5 ЗАДАНИЯ, используются методы из пакета functions.meta
public static Function shift(Function f, double shiftX, double shiftY) { no usages new *
    checkFunction(f); // ← Теперь одна строка!
    return new Shift(f, shiftX, shiftY);
}
public static Function scale(Function f, double scaleX, double scaleY) { no usages new *
    checkFunction(f);
    checkScaleCoefficients(scaleX, scaleY);
    return new Scale(f, scaleX, scaleY);
}
public static Function power(Function f, double power) { no usages new *
    checkFunction(f);
    return new Power(f, power);
}
public static Function sum(Function f1, Function f2) { no usages new *
    checkFunctions(f1, f2);
    return new Sum(f1, f2);
}
public static Function mult(Function f1, Function f2) { no usages new *
    checkFunctions(f1, f2);
    return new Mult(f1, f2);
}
public static Function composition(Function f1, Function f2) { no usages new *
    checkFunctions(f1, f2);
    return new Composition(f1, f2);
}
```

Рис.16

## Задание 6

В 6 пункте в пакете functions создаем класс TabulatedFunctions, содержащий вспомогательные статические методы для работы с табулированными функциями, нужно сделайте так, чтобы в программе вне этого класса нельзя было создать его объект. Для этого первым делом прописываем исключение `private TabulatedFunctions() {`

```
throw new AssertionError("Нельзя создавать  
объекты класса TabulatedFunctions");
```

после чего уже пишется основная часть метода TabulatedFunctions.(Рис.17)

```
public static TabulatedFunction tabulate(Function function, double leftX, double rightX, int pointsCount) { no usages new *
    // проверка параметров
    if (function == null) {
        throw new IllegalArgumentException("функция не может быть null");
    }
    if (pointsCount < 2) {
        throw new IllegalArgumentException("pointsCount должен быть >= 2");
    }
    if (leftX >= rightX) {
        throw new IllegalArgumentException("LeftX должен быть < rightX");
    }
    // проверка, что отрезок в области определения функции
    if (leftX < function.getLeftDomainBorder() || rightX > function.getRightDomainBorder()) {
        throw new IllegalArgumentException(
            "Отрезок табулирования [" + leftX + ", " + rightX + "] " + "выходит за область определения функции [" + function.getLeftDomainBorder() + ", " +
        );
    }

    // создаем массивы для точек
    double[] xValues = new double[pointsCount];
    double[] yValues = new double[pointsCount];

    // ищем шаг
    double step = (rightX - leftX) / (pointsCount - 1);

    // заполняем массивы
    for (int i = 0; i < pointsCount; i++) {
        xValues[i] = leftX + i * step;
        yValues[i] = function.getFunctionValue(xValues[i]);
    }
    // возвращаем табулированную функцию
    return new ArrayTabulatedFunction(leftX, rightX, yValues);
}
```

Рис.17

## Задание 7

В 7 пункте в класс TabulatedFunctions реализовываем методы для работы с потоками ввода-вывода в классе TabulatedFunctions. Добавляем четыре статических метода: outputTabulatedFunction и inputTabulatedFunction для работы с байтовыми потоками, а также writeTabulatedFunction и readTabulatedFunction для работы с символьными потоками.(Рис.18)

```

// // ЗАДАНИЕ МЕТОДЫ ВВОДА/ВЫВОДА

public static void outputTabulatedFunction(TabulatedFunction function, OutputStream out) no usages new *
throws IOException {
    // try-with-resources автоматически закроет поток
    try (DataOutputStream dos = new DataOutputStream(out)) {
        // записываем количество точек
        int pointsCount = function.getPointsCount();
        dos.writeInt(pointsCount);

        // записываем координаты всех точек
        for (int i = 0; i < pointsCount; i++) {
            dos.writeDouble(function.getPointX(i));
            dos.writeDouble(function.getPointY(i));
        }
    }
}

public static TabulatedFunction inputTabulatedFunction(InputStream in) no usages new *
throws IOException {
    try (DataInputStream dis = new DataInputStream(in)) {
        // читаем количество точек
        int pointsCount = dis.readInt();

        // также создаем массивы для точки
        double[] xValues = new double[pointsCount];
        double[] yValues = new double[pointsCount];

        // и также читаем координаты всех точек
        for (int i = 0; i < pointsCount; i++) {
            xValues[i] = dis.readDouble(); // читаем X
            yValues[i] = dis.readDouble(); // читаем Y
        }

        // Можно выбрать любую реализацию - здесь ArrayTabulatedFunction
        return new ArrayTabulatedFunction(xValues[0], xValues[pointsCount-1], yValues);
    }
    // поток закрывается благодаря try-with-resources
}

```

Рис. 18

## Задание 8

В 8 задании мы проверяем работу всех написанных классов.

Проверены все реализации: созданы Sin, Cos, выведены значения на  $[0, \pi]$ .

Методом TabulatedFunctions.tabulate() получены табулированные версии, сравнение показало корректность интерполяции. Создана функция  $\sin^2 + \cos^2$  через classes.meta, значения соответствуют теории ( $\approx 1$ ).

Протестированы файловые операции: экспонента записана в exp.txt (текст) и прочитана, логарифм — в log.bin (бинарный) и восстановлен.(Рис.19-22)

ЗАДАНИЕ 8: тесты работ классов			
1. Sin и Cos от 0 до $\pi$ с шагом 0.1:			
x	sin(x)	cos(x)	
0.0	0.0	1.0	
0.1	0.09983341664682815	0.9950041652780258	
0.2	0.19866933079506122	0.980665778412416	
0.3	0.30000000000000004	0.2955202066613396	0.955336489125606
0.4	0.3894183423086505	0.9210609940028851	
0.5	0.479425538604203	0.8775825618903728	
0.6	0.5646424733950354	0.8253356149096783	
0.7	0.644217687237691	0.7648421872844885	
0.7999999999999999	0.7173560908995227	0.6967067093471655	
0.8999999999999999	0.7833269096274833	0.6216099682706645	
0.9999999999999999	0.8414709848078964	0.5403023058681398	
1.0999999999999999	0.8912073600614353	0.4535961214255775	
1.2	0.9320390859672263	0.3623577544766736	
1.3	0.963558185417193	0.26749882862458735	
1.4000000000000001	0.9854497299884603	0.16996714290024081	
1.5000000000000002	0.9974949866040544	0.07073720166770268	
1.6000000000000003	0.9995736030415051	-0.029199522301289037	
1.7000000000000004	0.9916648104524686	-0.12884449429552508	
1.8000000000000005	0.973847630878195	-0.22720209469308753	
1.9000000000000006	0.9463000876874142	-0.32328956686350396	
2.0000000000000004	0.9092974268256815	-0.4161468365471428	
2.1000000000000005	0.8632093666488735	-0.5048461045998579	
2.2000000000000006	0.8084964038195899	-0.5885011172553463	
2.3000000000000007	0.7457052121767197	-0.6662769212798248	
2.4000000000000001	0.6754631805511503	-0.737393715541246	
2.5000000000000001	0.5984721441039558	-0.8011436155469343	
2.6000000000000001	0.5155013718214634	-0.8568887533689478	
2.7000000000000001	0.42737988023382895	-0.9040721420170617	
2.8000000000000001	0.33498815015590383	-0.9422223406686585	
2.9000000000000012	0.23924932921398112	-0.9709581651495908	
3.0000000000000013	0.1411200080598659	-0.9899924966004456	
3.1000000000000014	0.04158066243328916	-0.9991351502732795	

3.1000000000000014	0.04158066243328916	-0.9991351502732795
Табулированные аналоги (10 точек):		
x	Sin (точный) Sin (табулированный) Cos (точный) Cos (табулированный)	
0.0	0.0	0.0
0.1	0.09983341664682815	0.09798155360510165
0.2	0.19866933079506122	0.1959631072102033
0.3	0.30000000000000004	0.29394466081530496
0.4	0.3894183423086505	0.38590680571121505
0.5	0.479425538604203	0.47207033789781927
0.6	0.5646424733950354	0.5582338700844235
0.7	0.644217687237691	0.6439824415274444
0.7999999999999999	0.7173560908995227	0.707935358675545
0.8999999999999999	0.7833269096274833	0.771882758236456
0.9999999999999999	0.8414709848078964	0.8358411929717461
1.0999999999999999	0.8912073600614353	0.8839933571281424
1.2	0.9320390859672263	0.9180219935851436
1.3	0.963558185417193	0.9520506300421447
1.4000000000000001	0.9854497299884603	0.984807753012208
1.5000000000000002	0.9974949866040544	0.984807753012208
1.6000000000000003	0.9995736030415051	0.984807753012208
1.7000000000000004	0.9916648104524686	0.984807753012208
1.8000000000000005	0.973847630878195	0.966204042925035
1.9000000000000006	0.9463000876874142	0.932175406468034
2.0000000000000004	0.9092974268256815	0.8981467700110329
2.1000000000000005	0.8632093666488735	0.862440982617227
2.2000000000000006	0.8084964038195899	0.7984879911136221
2.3000000000000007	0.7457052121767197	0.7345350739655215
2.4000000000000001	0.6754631805511503	0.670582156817421
2.5000000000000001	0.5984721441039558	0.594071569547527
2.6000000000000001	0.5155013718214634	0.5079080373609227
2.7000000000000001	0.42737988023382895	0.42174450517431844
2.8000000000000001	0.33498815015590383	0.3346977889881713
2.9000000000000002	0.23924932921398112	0.23671623538306957
3.0000000000000003	0.1411200080598659	0.1387346817779678
3.1000000000000004	0.04158066243328916	0.04075312817286608
Умма квадратов $\sin^2 + \cos^2$ :		

умма квадратов  $\sin^2 + \cos^2$ :  
 Теория:  $\sin^2(x) + \cos^2(x) = 1$  для любого  $x$   
 x sin<sup>2</sup>+cos<sup>2</sup> (10 точек) sin<sup>2</sup>+cos<sup>2</sup> (20 точек)  
 0.0 1.0 1.0  
 0.1 0.9753452893472049 0.9934801762782068  
 0.2 0.9704883234380686 0.9954813685939703  
 0.30000000000000004 0.9854291022725908 0.9958763728929726  
 0.4 0.9849684785101429 0.9933589338027065  
 0.5 0.9703975807827336 0.9993625107499969  
 0.6 0.975624427798983 0.9936326956262082  
 0.7 0.9993578909268825 0.995117641167469  
 0.7999999999999999 0.9750730613812004 0.9963026540644755  
 0.8999999999999999 0.9705859765791769 0.9932689681997069  
 0.9999999999999999 0.9858966365208117 0.9987562983724949  
 1.0999999999999999 0.9845147652334687 0.9938164918467103  
 1.2 0.9703137486131723 0.9947851906134687  
 1.3 0.9759104767365345 0.9967602121084793  
 1.4000000000000001 0.9987226923395387 0.9932102794692081  
 1.5000000000000002 0.9748077439009694 0.9981813628674935  
 1.6000000000000003 0.9706905402060587 0.9940315649397132  
 1.7000000000000004 0.9863710812548067 0.994484016931969  
 1.8000000000000005 0.9840679624425679 0.997249047024984  
 1.9000000000000006 0.9702368269293845 0.9931828676112102  
 2.0000000000000004 0.9762034361598597 0.9976377042349929  
 2.1000000000000005 0.998094042379682 0.994277914905217  
 2.2000000000000006 0.9745493369065118 0.9942141201229702  
 2.3000000000000007 0.9708020143187142 0.9977691588139896  
 2.4000000000000001 0.9868524364745752 0.993186732625713  
 2.5000000000000001 0.9836280701374409 0.9971253224749932  
 2.6000000000000001 0.9701668157313703 0.9945555417432219  
 2.7000000000000001 0.9765033060689583 0.9939755001864723  
 2.8000000000000001 0.9974730266221714 0.9983205474754961  
 2.9000000000000012 0.974297840397828 0.9932218745127168  
 3.0000000000000013 0.9709203989171432 0.9966442175874943  
 3.1000000000000014 0.9873407021801173 0.9948644454537273  
 Экспонента: запись/чтение текстового файла (exp.txt)

Сравнение исходной и прочитанной функции:

3.1000000000000014 0.9873407021801173 0.9948644454537273

Экспонента: запись/чтение текстового файла (exp.txt)

Сравнение исходной и прочитанной функции:

x	Исходная $e^x$	Прочитанная	Разница
0	1,000000	1,000000	0,0000000000
1	2,718282	2,718282	0,0000000000
2	7,389056	7,389056	0,0000000000
3	20,085537	20,085537	0,0000000000
4	54,598150	54,598150	0,0000000000
5	148,413159	148,413159	0,0000000000
6	403,428793	403,428793	0,0000000000
7	1096,633158	1096,633158	0,0000000000
8	2980,957987	2980,957987	0,0000000000
9	8103,083928	8103,083928	0,0000000000
10	22026,465795	22026,465795	0,0000000000

(логарифм, запись/чтение бинарного файла (log.bin))

Сравнение исходной и прочитанной функции:

x	Исходная $\ln(x)$	Прочитанная	Разница
1.0	-0.1309825573257748	-0.1309825573257748	0.0
2.0	0.6801505040185054	0.6801505040185054	0.0
3.0	1.0941506153849527	1.0941506153849527	0.0
4.0	1.3842432516733665	1.3842432516733665	0.0
5.0	1.6083677751219336	1.6083677751219336	0.0
6.0	1.7911710515968466	1.7911710515968466	0.0
7.0	1.9455872302505781	1.9455872302505781	0.0
8.0	2.079276771049012	2.079276771049012	0.0
9.0	2.1971593478854805	2.1971593478854805	0.0
10.0	2.302585092994046	2.302585092994046	0.0

Результаты визуализации в файле res.png

Рис. 19-22

### Задание 9

В 9 задании реализована поддержка сериализации для классов `ArrayTabulatedFunction` и `LinkedListTabulatedFunction` через интерфейс `Serializable`. Добавлены поля `serialVersionUID`. Протестирована на функции `ln(e^x)`: объект сериализован в файл и успешно восстановлен с полным сохранением данных. `Serializable` обеспечивает простую реализацию с автоматическим сохранением всех полей. Также добавил поддержку `Externalizable` в `LinkedListTabulatedFunction`. Создал конструктор без параметров, без него `Externalizable` не работает. Реализовал два метода: `writeExternal`, который сохраняет все точки функции в поток, и `readExternal`, который читает их обратно и восстанавливает связный список. В `main` добавил тест: создал функцию, сериализовал её в байтовый массив, десериализовал обратно и проверил, что значения в ключевых точках совпадают до и после сериализации..(Рис.23-25)

```
public class ArrayTabulatedFunction implements TabulatedFunction, Cloneable, Serializable { 6 usages new *
    private static final long serialVersionUID = 1L; // версия для сериализации no usages
    // создаем поле в виде массива

public class LinkedListTabulatedFunction implements TabulatedFunction, Cloneable, Serializable { 4 usages new *
    private static final long serialVersionUID = 2L; // версия для сериализации no usages

    private class FunctionNode implements Serializable { 41 usages new *
        небольшой тест сериализации
        оригинальная функция:
        f(1) = 1.0 (ожидается 1.0)
        f(2) = 4.0 (ожидается 4.0)
        функция сериализовано 129 байт
        восстановленная функция:
        f(1) = 1.0 (ожидается 1.0)
        f(2) = 4.0 (ожидается 4.0)
        Все хорошо, они одинаковы.
```

Рис.(23-25)