

# Лабораторная работа №4

Выполнила: Аксенова Алина Владимировна

Номер группы: 6204-010302D

Дата выполнения: 2025г.

## Оглавление

Задание1.....	3
Задание2.....	4
Задание3.....	4
Задание4.....	6
Задание5.....	7
Задание6.....	8
Задание7.....	9
Задание8.....	11
Задание9.....	12

## Задание 1

Для реализации конструкторов, получающих массив точек, я добавила в классы `ArrayTabulatedFunction` и `LinkedListTabulatedFunction` новые конструкторы. В конструкторе я сначала проверяю, что количество точек не менее двух, иначе выбрасываю `IllegalArgumentException`. Затем я проверяю упорядоченность точек по возрастанию  $X$  с использованием машинного эпсилон  $1e-10$ . Если какая-либо точка имеет  $X$  не больше предыдущей, также выбрасываю исключение. Для обеспечения инкапсуляции я создаю копии всех переданных точек, а не сохраняю исходные ссылки. В `LinkedListTabulatedFunction` я дополнительно инициализирую список и последовательно добавляю точки в хвост, сохраняя порядок.

```
// ArrayTabulatedFunction.java
public ArrayTabulatedFunction(FunctionPoint[] points) {
    if (points.length < 2) {
        throw new IllegalArgumentException("Количество точек должно
быть не менее 2");
    }

    // Я добавила проверку упорядоченности с использованием
машинного эпсилон
    for (int i = 1; i < points.length; i++) {
        if (points[i].getX() <= points[i-1].getX() + 1e-10) {
            throw new IllegalArgumentException("Точки должны быть
упорядочены по X");
        }
    }

    this.pointsCount = points.length;
    this.points = new FunctionPoint[pointsCount + 5];

    // Я обеспечила инкапсуляцию - создаю копии точек
    for (int i = 0; i < pointsCount; i++) {
        this.points[i] = new FunctionPoint(points[i]);
    }
}
```

## Задание 2

Для создания интерфейса функций одной переменной я создала файл `Function.java` в пакете `functions`. Этот интерфейс содержит три метода: `getLeftDomainBorder()` возвращает левую границу области определения, `getRightDomainBorder()` возвращает правую границу, и `getFunctionValue(double x)` вычисляет значение функции в точке  $x$ . Затем я изменила интерфейс `TabulatedFunction`, убрав из него эти три метода и сделав так, чтобы он расширял интерфейс `Function`. Это позволило унифицировать работу с любыми функциями, независимо от того, являются ли они аналитическими или табулированными.

```
// Function.java
public interface Function {
    double getLeftDomainBorder();
    double getRightDomainBorder();
    double getFunctionValue(double x);
}

// TabulatedFunction.java
public interface TabulatedFunction extends Function {
    // Я оставила только специфичные для табулированных функций
    // методы
    int getPointsCount();
    FunctionPoint getPoint(int index);
    void setPoint(int index, FunctionPoint point) throws
    InappropriateFunctionPointException;
    // ... остальные методы
}
```

## Задание 3

Для реализации аналитических функций я создала пакет `functions.basic` и разместила в нем шесть классов. Класс `Exp` вычисляет экспоненту через `Math.exp()` и имеет бесконечную область определения. Класс `Log` принимает основание в конструкторе, проверяет его корректность с использованием машинного эпсилона, и вычисляет логарифм через `Math.log()`. Абстрактный

класс TrigonometricFunction предоставляет общую реализацию методов для тригонометрических функций с бесконечной областью определения. Классы Sin, Cos и Tan наследуют от TrigonometricFunction и вычисляют соответствующие функции через Math.sin(), Math.cos() и Math.tan().

```
// Exp.java - экспонента
public class Exp implements Function {
    public double getLeftDomainBorder() {
        return Double.NEGATIVE_INFINITY;
    }

    public double getRightDomainBorder() {
        return Double.POSITIVE_INFINITY;
    }

    public double getFunctionValue(double x) {
        return Math.exp(x);
    }
}

// Log.java - логарифм с основанием
public class Log implements Function {
    private double base;

    public Log(double base) {
        // Я добавила проверку основания с использованием
        // машинного эпсилон
        if (base <= 0 || Math.abs(base - 1) < 1e-10) {
            throw new IllegalArgumentException("Основание
логарифма должно быть > 0 и ≠ 1");
        }
        this.base = base;
    }

    public double getFunctionValue(double x) {
        if (x <= 0) return Double.NaN;
        return Math.log(x) / Math.log(base);
    }
}

// TrigonometricFunction.java - базовый класс для
тригонометрических функций
```

```

public abstract class TrigonometricFunction implements Function {
    public double getLeftDomainBorder() {
        return Double.NEGATIVE_INFINITY;
    }

    public double getRightDomainBorder() {
        return Double.POSITIVE_INFINITY;
    }
}

```

## Задание 4

Для реализации функций-комбинаторов я создала пакет functions.meta с шестью классами. Класс Sum представляет сумму двух функций, вычисляя область определения как пересечение исходных областей. Класс Mult реализует произведение функций аналогичным образом. Класс Power возводит функцию в степень, сохраняя исходную область определения. Класс Scale масштабирует функцию вдоль осей, умножая аргумент на scaleX перед вычислением и результат на scaleY после. Класс Shift сдвигает функцию, вычитая shiftX из аргумента и прибавляя shiftY к результату. Класс Composition реализует композицию  $f_2(f_1(x))$ .

```

// Sum.java - сумма двух функций
public class Sum implements Function {
    private Function f1, f2;

    public Sum(Function f1, Function f2) {
        this.f1 = f1;
        this.f2 = f2;
    }

    // Я вычислила область определения как пересечение областей
    // исходных функций
    public double getLeftDomainBorder() {
        return Math.max(f1.getLeftDomainBorder(),
            f2.getLeftDomainBorder());
    }
}

```

```

    public double getFunctionValue(double x) {
        return f1.getFunctionValue(x) + f2.getFunctionValue(x);
    }
}

// Scale.java - масштабирование функции
public class Scale implements Function {
    private Function f;
    private double scaleX, scaleY;

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

    // Я масштабировала область определения вдоль оси X
    public double getLeftDomainBorder() {
        return f.getLeftDomainBorder() * scaleX;
    }

    // И масштабировала значения функции вдоль оси Y
    public double getFunctionValue(double x) {
        return f.getFunctionValue(x / scaleX) * scaleY;
    }
}

```

## Задание 5

Для предоставления удобного API создания мета-функций я создала класс `Functions` с приватным конструктором, чтобы запретить создание его экземпляров. Я реализовала шесть статических фабричных методов: `shift()`, `scale()`, `power()`, `sum()`, `mult()` и `composition()`. Каждый метод принимает необходимые параметры и возвращает соответствующий объект мета-функции из пакета `functions.meta`. Это позволяет создавать сложные функции в стиле `fluent interface` без явного использования конструкторов мета-классов.

```

public final class Functions {
    // Я сделала конструктор приватным, чтобы нельзя было создать
    // объект
    private Functions() {}

    public static Function shift(Function f, double shiftX, double
    shiftY) {
        return new Shift(f, shiftX, shiftY);
    }

    public static Function scale(Function f, double scaleX, double
    scaleY) {
        return new Scale(f, scaleX, scaleY);
    }

    public static Function power(Function f, double power) {
        return new Power(f, power);
    }

    public static Function sum(Function f1, Function f2) {
        return new Sum(f1, f2);
    }

    public static Function composition(Function f1, Function f2) {
        return new Composition(f1, f2);
    }
}

```

## Задание 6

Для создания табулированных аналогов аналитических функций я добавила в класс TabulatedFunctions метод tabulate(). Метод принимает функцию, границы интервала и количество точек. Я реализовала проверку, что границы табулирования не выходят за область определения функции, иначе выбрасываю IllegalArgumentException. Затем я равномерно разбиваю интервал, вычисляю значения функции в узлах и создаю ArrayTabulatedFunction с полученными точками. Метод возвращает интерфейс TabulatedFunction, что позволяет в будущем легко изменить реализацию.



```

public static TabulatedFunction tabulate(Function function, double
leftX, double rightX, int pointsCount) {
    // Я добавила проверку границ области определения
    if (leftX < function.getLeftDomainBorder() || rightX >
function.getRightDomainBorder()) {
        throw new IllegalArgumentException("Границы табулирования
выходят за область определения функции");
    }
    if (pointsCount < 2) {
        throw new IllegalArgumentException("Количество точек должно
быть не менее 2");
    }

    // Я создаю массив значений Y
    double[] values = new double[pointsCount];
    double step = (rightX - leftX) / (pointsCount - 1);

    for (int i = 0; i < pointsCount; i++) {
        double x = leftX + i * step;
        values[i] = function.getFunctionValue(x);
    }

    // Я возвращаю табулированную функцию
    return new ArrayTabulatedFunction(leftX, rightX, values);
}

```

## Задание 7

Для работы с потоками ввода-вывода я добавила в TabulatedFunctions четыре метода. Метод outputTabulatedFunction() использует DataOutputStream для бинарной записи количества точек и координат. Метод inputTabulatedFunction() читает эти данные через DataInputStream и восстанавливает функцию. Метод writeTabulatedFunction() использует PrintWriter для текстовой записи с разделением пробелами. Метод readTabulatedFunction() использует StreamTokenizer для разбора текстового формата. Я обрабатываю IOException, оборачивая их в RuntimeException, и использую try-with-resources для автоматического закрытия потоков.

```

// Байтовый вывод
public static void outputTabulatedFunction(TabulatedFunction
function, OutputStream out) {
    try (DataOutputStream dos = new DataOutputStream(out)) {
        // Я записываю количество точек
        dos.writeInt(function.getPointsCount());
        // И координаты всех точек
        for (int i = 0; i < function.getPointsCount(); i++) {
            FunctionPoint point = function.getPoint(i);
            dos.writeDouble(point.getX());
            dos.writeDouble(point.getY());
        }
    } catch (IOException e) {
        throw new RuntimeException("Ошибка вывода функции", e);
    }
}

// Символьный ввод
public static TabulatedFunction readTabulatedFunction(Reader in) {
    try {
        // Я использую StreamTokenizer для разбора текста
        StreamTokenizer tokenizer = new StreamTokenizer(in);
        tokenizer.parseNumbers();

        // Читаю количество точек
        if (tokenizer.nextToken() != StreamTokenizer.TT_NUMBER) {
            throw new RuntimeException("Ожидалось количество
точек");
        }
        int pointsCount = (int) tokenizer.nval;

        FunctionPoint[] points = new FunctionPoint[pointsCount];

        // Читаю координаты точек
        for (int i = 0; i < pointsCount; i++) {
            if (tokenizer.nextToken() !=
StreamTokenizer.TT_NUMBER) {
                throw new RuntimeException("Ожидалась координата
x");
            }
            double x = tokenizer.nval;

```

```

        if (tokenizer.nextToken() !=
StreamTokenizer.TT_NUMBER) {
            throw new RuntimeException("Ожидалась координата
Y");
        }
        double y = tokenizer.nval;

        points[i] = new FunctionPoint(x, y);
    }

    return new ArrayTabulatedFunction(points);
} catch (IOException e) {
    throw new RuntimeException("Ошибка чтения функции", e);
}
}

```

## Задание 8

Для комплексного тестирования я создала класс Main с тремя тестовыми методами. В testBasicFunctions() я создаю объекты Sin и Cos, вывожу их значения, создаю табулированные аналоги и сравниваю точность при разном количестве точек. В testFunctionCombinations() я тестирую все мета-функции, создавая сложные комбинации. В testInputOutput() я сохраняю функции в файлы бинарного и текстового формата, затем загружаю их и сравниваю с оригиналами. Я также анализирую размеры файлов и читаемость разных форматов.

```

// Я тестирую базовые функции
Sin sin = new Sin();
Cos cos = new Cos();
System.out.println("Sin( $\pi/2$ ) = " +
sin.getFunctionValue(Math.PI/2)); // 1.0

// Я создаю табулированные аналоги
TabulatedFunction tabulatedSin = TabulatedFunctions.tabulate(sin,

```

```

0, Math.PI, 10);

// Я тестирую комбинации функций
Function sumOfSquares = Functions.sum(
    Functions.power(tabulatedSin, 2),
    Functions.power(tabulatedCos, 2)
);

// Я тестирую ввод/вывод
TabulatedFunctions.outputTabulatedFunction(tabulatedSin, new
FileOutputStream("test.bin"));
TabulatedFunction readFunction =
TabulatedFunctions.inputTabulatedFunction(new
FileInputStream("test.bin"));

```

## Задание 9

Для поддержки сериализации я сделала ArrayTabulatedFunction и LinkedListTabulatedFunction сериализуемыми через реализацию Serializable. Я добавила serialVersionUID для контроля версий. Также я создала класс ArrayTabulatedFunctionExternalizable, реализующий Externalizable, где вручную управляю процессом сериализации через методы writeExternal() и readExternal(). В тестах я сравниваю размеры файлов и производительность двух подходов, отмечая что Externalizable дает больший контроль над процессом сериализации.

### Вывод Main:

```

=== Лабораторная работа #4 ===

--- Тестирование базовых функций ---
Exp: f(0) = 1.0
Exp: f(1) = 2.718281828459045
Ln: f(1) = 0.0
Ln: f(Math.E) = 1.0
Sin(0) = 0.0
Cos(0) = 1.0
Sin(pi/2) = 1.0

```

--- Тестирование комбинированных функций ---

$\sin(x) + \cos(x)$  для различных  $x$ :

$x=0,00$ : 1,000000

$x=0,79$ : 1,000000

$x=1,57$ : 1,000000

$x=2,36$ : 1,000000

$x=3,14$ : 1,000000

$\exp(\ln(5)) = 5.0$

--- Тестирование табулирования и ввода/вывода ---

$\sin(x)$  на отрезке  $[0, \pi]$  с шагом 0.1:

$\sin(0,0) = 0,000000$

$\sin(0,1) = 0,099833$

$\sin(0,2) = 0,198669$

$\sin(0,3) = 0,295520$

$\sin(0,4) = 0,389418$

$\sin(0,5) = 0,479426$

$\sin(0,6) = 0,564642$

$\sin(0,7) = 0,644218$

$\sin(0,8) = 0,717356$

$\sin(0,9) = 0,783327$

$\sin(1,0) = 0,841471$

$\sin(1,1) = 0,891207$

$\sin(1,2) = 0,932039$

$\sin(1,3) = 0,963558$

$\sin(1,4) = 0,985450$

$\sin(1,5) = 0,997495$

$\sin(1,6) = 0,999574$

$\sin(1,7) = 0,991665$

$\sin(1,8) = 0,973848$

$\sin(1,9) = 0,946300$

$\sin(2,0) = 0,909297$

$\sin(2,1) = 0,863209$

$\sin(2,2) = 0,808496$

$\sin(2,3) = 0,745705$

$\sin(2,4) = 0,675463$

$\sin(2,5) = 0,598472$

$\sin(2,6) = 0,515501$

$\sin(2,7) = 0,427380$

$\sin(2,8) = 0,334988$

$\sin(2,9) = 0,239249$

$\sin(3,0) = 0,141120$

$\sin(3,1) = 0,041581$

$\cos(x)$  на отрезке  $[0, \pi]$  с шагом 0.1:

$\cos(0,0) = 1,000000$

$\cos(0,1) = 0,995004$   
 $\cos(0,2) = 0,980067$   
 $\cos(0,3) = 0,955336$   
 $\cos(0,4) = 0,921061$   
 $\cos(0,5) = 0,877583$   
 $\cos(0,6) = 0,825336$   
 $\cos(0,7) = 0,764842$   
 $\cos(0,8) = 0,696707$   
 $\cos(0,9) = 0,621610$   
 $\cos(1,0) = 0,540302$   
 $\cos(1,1) = 0,453596$   
 $\cos(1,2) = 0,362358$   
 $\cos(1,3) = 0,267499$   
 $\cos(1,4) = 0,169967$   
 $\cos(1,5) = 0,070737$   
 $\cos(1,6) = -0,029200$   
 $\cos(1,7) = -0,128844$   
 $\cos(1,8) = -0,227202$   
 $\cos(1,9) = -0,323290$   
 $\cos(2,0) = -0,416147$   
 $\cos(2,1) = -0,504846$   
 $\cos(2,2) = -0,588501$   
 $\cos(2,3) = -0,666276$   
 $\cos(2,4) = -0,737394$   
 $\cos(2,5) = -0,801144$   
 $\cos(2,6) = -0,856889$   
 $\cos(2,7) = -0,904072$   
 $\cos(2,8) = -0,942222$   
 $\cos(2,9) = -0,970958$   
 $\cos(3,0) = -0,989992$   
 $\cos(3,1) = -0,999135$

Табулированный синус (0 до  $\pi$ , 10 точек):

(0,00, 0,0000)  
(0,35, 0,3420)  
(0,70, 0,6428)  
(1,05, 0,8660)  
(1,40, 0,9848)  
(1,75, 0,9848)  
(2,09, 0,8660)  
(2,44, 0,6428)  
(2,79, 0,3420)  
(3,14, 0,0000)

Табулированный косинус (0 до  $\pi$ , 10 точек):

(0,00, 1,0000)  
(0,35, 0,9397)  
(0,70, 0,7660)

(1,05, 0,5000)  
(1,40, 0,1736)  
(1,75, -0,1736)  
(2,09, -0,5000)  
(2,44, -0,7660)  
(2,79, -0,9397)  
(3,14, -1,0000)

Сравнение исходного и табулированного синуса:

x=0,0: исходный=0,000000, табулированный=0,000000, разница=0,000000  
x=0,1: исходный=0,099833, табулированный=0,097982, разница=0,001852  
x=0,2: исходный=0,198669, табулированный=0,195963, разница=0,002706  
x=0,3: исходный=0,295520, табулированный=0,293945, разница=0,001576  
x=0,4: исходный=0,389418, табулированный=0,385907, разница=0,003512  
x=0,5: исходный=0,479426, табулированный=0,472070, разница=0,007355  
x=0,6: исходный=0,564642, табулированный=0,558234, разница=0,006409  
x=0,7: исходный=0,644218, табулированный=0,643982, разница=0,000235  
x=0,8: исходный=0,717356, табулированный=0,707935, разница=0,009421  
x=0,9: исходный=0,783327, табулированный=0,771888, разница=0,011439  
x=1,0: исходный=0,841471, табулированный=0,835841, разница=0,005630  
x=1,1: исходный=0,891207, табулированный=0,883993, разница=0,007214  
x=1,2: исходный=0,932039, табулированный=0,918022, разница=0,014017  
x=1,3: исходный=0,963558, табулированный=0,952051, разница=0,011508  
x=1,4: исходный=0,985450, табулированный=0,984808, разница=0,000642  
x=1,5: исходный=0,997495, табулированный=0,984808, разница=0,012687  
x=1,6: исходный=0,999574, табулированный=0,984808, разница=0,014766  
x=1,7: исходный=0,991665, табулированный=0,984808, разница=0,006857  
x=1,8: исходный=0,973848, табулированный=0,966204, разница=0,007644  
x=1,9: исходный=0,946300, табулированный=0,932175, разница=0,014125  
x=2,0: исходный=0,909297, табулированный=0,898147, разница=0,011151  
x=2,1: исходный=0,863209, табулированный=0,862441, разница=0,000768  
x=2,2: исходный=0,808496, табулированный=0,798488, разница=0,010008  
x=2,3: исходный=0,745705, табулированный=0,734535, разница=0,011170  
x=2,4: исходный=0,675463, табулированный=0,670582, разница=0,004881  
x=2,5: исходный=0,598472, табулированный=0,594072, разница=0,004401  
x=2,6: исходный=0,515501, табулированный=0,507908, разница=0,007593  
x=2,7: исходный=0,427380, табулированный=0,421745, разница=0,005635  
x=2,8: исходный=0,334988, табулированный=0,334698, разница=0,000290  
x=2,9: исходный=0,239249, табулированный=0,236716, разница=0,002533  
x=3,0: исходный=0,141120, табулированный=0,138735, разница=0,002385  
x=3,1: исходный=0,041581, табулированный=0,040753, разница=0,000828

sin?(x) + cos?(x) через табулированные функции:

x=0,00: 1,000000  
x=0,10: 0,975345  
x=0,20: 0,970488  
x=0,30: 0,985429  
x=0,40: 0,984968

x=0,50: 0,970398  
x=0,60: 0,975624  
x=0,70: 0,999358  
x=0,80: 0,975073  
x=0,90: 0,970586  
x=1,00: 0,985897  
x=1,10: 0,984515  
x=1,20: 0,970314  
x=1,30: 0,975910  
x=1,40: 0,998723  
x=1,50: 0,974808  
x=1,60: 0,970691  
x=1,70: 0,986371  
x=1,80: 0,984068  
x=1,90: 0,970237  
x=2,00: 0,976203  
x=2,10: 0,998094  
x=2,20: 0,974549  
x=2,30: 0,970802  
x=2,40: 0,986852  
x=2,50: 0,983628  
x=2,60: 0,970167  
x=2,70: 0,976503  
x=2,80: 0,997473  
x=2,90: 0,974298  
x=3,00: 0,970920  
x=3,10: 0,987341

Исследование влияния количества точек на точность:

5 точек: погрешность в  $\pi/2$  = 0,00000000  
10 точек: погрешность в  $\pi/2$  = 0,01519225  
20 точек: погрешность в  $\pi/2$  = 0,00341551  
50 точек: погрешность в  $\pi/2$  = 0,00051378

--- Тестирование ввода/вывода в файлы ---

Сравнение исходной и прочитанной экспоненты (символьные потоки):

x=0,0: исходная=1,0000, прочитанная=1,0000  
x=1,0: исходная=2,7183, прочитанная=2,7183  
x=2,0: исходная=7,3891, прочитанная=7,3891  
x=3,0: исходная=20,0855, прочитанная=20,0855  
x=4,0: исходная=54,5982, прочитанная=54,5982  
x=5,0: исходная=148,4132, прочитанная=148,4132  
x=6,0: исходная=403,4288, прочитанная=403,4288  
x=7,0: исходная=1096,6332, прочитанная=1096,6332  
x=8,0: исходная=2980,9580, прочитанная=2980,9580  
x=9,0: исходная=8103,0839, прочитанная=8103,0839  
x=10,0: исходная=22026,4658, прочитанная=22026,4658



Сравнение исходного и прочитанного логарифма (байтовые потоки):

x=1,0: исходная=0,0000, прочитанная=0,0000  
x=2,0: исходная=0,6849, прочитанная=0,6849  
x=3,0: исходная=1,0916, прочитанная=1,0916  
x=4,0: исходная=1,3809, прочитанная=1,3809  
x=5,0: исходная=1,6055, прочитанная=1,6055  
x=6,0: исходная=1,7889, прочитанная=1,7889  
x=7,0: исходная=1,9440, прочитанная=1,9440  
x=8,0: исходная=2,0783, прочитанная=2,0783  
x=9,0: исходная=2,1967, прочитанная=2,1967  
x=10,0: исходная=2,3026, прочитанная=2,3026

--- Анализ файлов ---

Размеры файлов:

exp\_text.txt (символьный): 235 байт  
ln\_binary.dat (байтовый): 180 байт  
function\_serializable.dat (сериализация): 450 байт

Преимущества/недостатки форматов:

Символьный: читаем для человека, но больший размер

Байтовый: компактный, но нечитаем для человека

Сериализация: сохраняет всю структуру объекта, но зависит от версии Java

--- Тестирование сериализации ---

Исходная функция ( $\ln(\exp(x))$ ):

f(0,0) = 0,0000  
f(1,0) = 1,0000  
f(2,0) = 2,0000  
f(3,0) = 3,0000  
f(4,0) = 4,0000  
f(5,0) = 5,0000  
f(6,0) = 6,0000  
f(7,0) = 7,0000  
f(8,0) = 8,0000  
f(9,0) = 9,0000  
f(10,0) = 10,0000

Функция сериализована в function\_serializable.dat

Функция десериализована из function\_serializable.dat

Сравнение исходной и десериализованной функции:

x=0,0: исходная=0,0000, десериализованная=0,0000  
x=1,0: исходная=1,0000, десериализованная=1,0000  
x=2,0: исходная=2,0000, десериализованная=2,0000  
x=3,0: исходная=3,0000, десериализованная=3,0000  
x=4,0: исходная=4,0000, десериализованная=4,0000  
x=5,0: исходная=5,0000, десериализованная=5,0000  
x=6,0: исходная=6,0000, десериализованная=6,0000

x=7,0: исходная=7,0000, десериализованная=7,0000  
x=8,0: исходная=8,0000, десериализованная=8,0000  
x=9,0: исходная=9,0000, десериализованная=9,0000  
x=10,0: исходная=10,0000, десериализованная=10,0000