

**Отчет по лабораторной работе №4**

**«Аналитические функции и методы  
вывода табулированных функций»**

Выполнила: Качкуркина Арина Валерьевна

Группа: 6204-010302D

## **Задание 1**

Я добавила в классы `ArrayTabulatedFunction` и `LinkedListTabulatedFunction` конструкторы, которые принимают готовый массив точек. Эти конструкторы проверяют:

- что точек не меньше двух (иначе функция не может быть определена);
- что точки упорядочены по возрастанию координаты X.

При нарушении любого из условий выбрасывается понятное исключение `IllegalArgumentException` с описанием проблемы.

## **Задание 2**

Создала интерфейс `Function`, который стал базовым для всех функций в программе. Он содержит три основных метода:

- получение левой и правой границ области определения
- вычисление значения функции в точке.

Интерфейс `TabulatedFunction` теперь наследуется от `Function` - табулированные функции являются частным случаем функций одной переменной.

## **Задание 3**

Реализовала пакет `functions.basic` с аналитическими функциями:

```

package functions.basic;

import functions.Function;

//экспонента: f(x) = e^x
public class Exp implements Function { 2 usages

    //область определения: все действительные числа(-oo,+oo)
    public double getLeftDomainBorder() { return Double.NEGATIVE_INFINITY; // -oo }

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

    //вычисление значения ф-ии в точке x
    public double getFunctionValue(double x) { return Math.exp(x); // e^x }
}

```

- Exp - экспонента, использует стандартную библиотеку Java

```

package functions.basic;

import functions.Function;
//логарифм: f(x) = log a (x)
public class Log implements Function { 2 usages
    private double base; //основание лог. 2 usages

    //Конструктор получает основание лог.
    public Log(double base) { 2 usages
        if (base <= 0 || Math.abs(base - 1.0) < 1e-10) {
            throw new IllegalArgumentException("Основание логарифма должно быть > 0 и != 1");
        }
        this.base = base;
    }

    //область определения: x > 0
    public double getLeftDomainBorder() { return 0.0; // лог. определен только для x > 0 }

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

    //вычисление логарифма: loga(x) = ln(x) / ln(a)
    public double getFunctionValue(double x) {
        if (x <= 0) {
            return Double.NaN; //для x ≤ 0
        }
        //формула: log a (x) = ln(x) / ln(a)
        return Math.log(x) / Math.log(base);
    }
}

```

- Log - логарифм с любым основанием

```

package functions.basic;

//f(x) = sin(x)
public class Sin extends TrigonometricFunction { 1 usage

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

```

```

package functions.basic;

//f(x) = tan(x)
public class Tan extends TrigonometricFunction { no usages

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

```

```

package functions.basic;

//f(x) = cos(x)
public class Cos extends TrigonometricFunction { 1 usage

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

```

- Тригонометрические функции (Sin, Cos, Tan) - наследуются от общего базового класса TrigonometricFunction.

## Задание 4

Создала пакет functions.meta для комбинирования функций.  
Реализовала:

```

package functions.meta;

import functions.Function;
//сумма ф-ий: f(x) = f1(x) + f2(x)
public class Sum implements Function { 1 usage

    private Function f1; //первая функция 4 usages
    private Function f2; //вторая функция 4 usages

    //Конструктор получает две функции
    public Sum(Function f1, Function f2) { 1 usage
        this.f1 = f1;
        this.f2 = f2;
    }

    //область определения - пересечение о.о. f1 и f2
    public double getLeftDomainBorder() { return Math.max(f1.getLeftDomainBorder(), f2.getLeftDomainBorder()); }

    public double getRightDomainBorder() { return Math.min(f1.getRightDomainBorder(), f2.getRightDomainBorder()); }

    //знач. суммы ф-ий в точке x
    public double getFunctionValue(double x) {
        //проверка, что x в о.о.
        if (x < getLeftDomainBorder() || x > getRightDomainBorder()) {
            return Double.NaN;
        }
        return f1.getFunctionValue(x) + f2.getFunctionValue(x);
    }
}

```

```

package functions.meta;

import functions.Function;

//f(x) = f1(x) * f2(x)
public class Mult implements Function { 1 usage
    private Function f1; 4 usages
    private Function f2; 4 usages
    //Конструктор
    public Mult(Function f1, Function f2) { 1 usage
        //сохраняем переданные ф-ии в поля класса
        this.f1 = f1;
        this.f2 = f2;
    }

    public double getLeftDomainBorder() { return Math.max(f1.getLeftDomainBorder(), f2.getLeftDomainBorder()); }

    public double getRightDomainBorder() { return Math.min(f1.getRightDomainBorder(), f2.getRightDomainBorder()); }
    //значение произведения функций в точке x
    public double getFunctionValue(double x) {
        if (x < getLeftDomainBorder() || x > getRightDomainBorder()) {
            return Double.NaN;//если x вне области определения
        }
        return f1.getFunctionValue(x) * f2.getFunctionValue(x);
    }
}

```

## - Sum и Mult - арифметические операции

```

package functions.meta;

import functions.Function;
//f(x) = [g(x)]^power
public class Power implements Function { 1 usage
    private Function baseFunction; //базовая ф-ия 4 usages
    private double power;          //степень 2 usages

    public Power(Function baseFunction, double power) { 1 usage
        this.baseFunction = baseFunction;
        this.power = power;
    }

    //о.о. совпадает с о.о. базовой ф-ии
    public double getLeftDomainBorder() { return baseFunction.getLeftDomainBorder(); }

    public double getRightDomainBorder() { return baseFunction.getRightDomainBorder(); }

    public double getFunctionValue(double x) {
        if (x < getLeftDomainBorder() || x > getRightDomainBorder()) {
            return Double.NaN;
        }
        double baseValue = baseFunction.getFunctionValue(x); //вычисляем значение базовой ф-ии в точке x
        return Math.pow(baseValue, power); //возводим полученное знач. в заданную степень
    }
}
//о.о.- область определения

```

## - Power - возведение в степень

```

import functions.Function;
//масштабирование функции: f(x) = scaleY * g(scaleX * x)
public class Scale implements Function { 1 usage
    private Function function; //исходная функция 6 usages
    private double scaleX; //коэф. масштабирования по x 10 usages
    private double scaleY; //коэф. масштабирования по y 2 usages

    public Scale(Function function, double scaleX, double scaleY) { 1 usage
        this.function = function;
        this.scaleX = scaleX;
        this.scaleY = scaleY;
    }

    //о.о. масштабируется по x
    public double getLeftDomainBorder() {
        if (scaleX > 0) {
            return function.getLeftDomainBorder() / scaleX;
        } else if (scaleX < 0) {
            return function.getRightDomainBorder() / scaleX;
        } else {
            return Double.NaN; //scaleX = 0 - ф-ия не определена
        }
    }

    public double getRightDomainBorder() {
        if (scaleX > 0) {
            return function.getRightDomainBorder() / scaleX;
        } else if (scaleX < 0) {
            return function.getLeftDomainBorder() / scaleX;
        } else {
            return Double.NaN;
        }
    }

    public double getFunctionValue(double x) {
        if (x < getLeftDomainBorder() || x > getRightDomainBorder()) {
            return Double.NaN;
        }
        return scaleY * function.getFunctionValue( x: scaleX * x );
    }
}

```

```

package functions.meta;

import functions.Function;
//сдвиг ф-ии (+)
public class Shift implements Function { 1 usage
    private Function function;//исходная ф-ия 4 usages
    private double shiftX;//сдвиг по x 4 usages
    private double shiftY;//сдвиг по y 2 usages

    public Shift(Function function, double shiftX, double shiftY) { 1 usage
        this.function = function;
        this.shiftX = shiftX;
        this.shiftY = shiftY;
    }

    //о.о. сдвигается по x
    public double getLeftDomainBorder() { return function.getLeftDomainBorder() + shiftX; }

    public double getRightDomainBorder() { return function.getRightDomainBorder() + shiftX; }

    public double getFunctionValue(double x) {
        if (x < getLeftDomainBorder() || x > getRightDomainBorder()) {
            return Double.NaN;
        }
        return shiftY + function.getFunctionValue( x: x - shiftX );
    }
}

```

- Scale и Shift - геометрические преобразования

```

package functions.meta;

import functions.Function;

//композиция ф-ий: f(x) = g(z(x))
public class Composition implements Function { 1 usage
    private Function outer; //внешняя ф-ия g 4 usages
    private Function inner; //внутренняя функция z 4 usages

    public Composition(Function outer, Function inner) { 1 usage
        this.outer = outer;
        this.inner = inner;
    }

    //о.о. совпадает с о.о. внутренней ф-ии
    public double getLeftDomainBorder() { return inner.getLeftDomainBorder(); }

    public double getRightDomainBorder() { return inner.getRightDomainBorder(); }

    public double getFunctionValue(double x) {
        if (x < getLeftDomainBorder() || x > getRightDomainBorder()) {
            return Double.NaN;
        }
        double innerValue = inner.getFunctionValue(x); //вычисл.хнч. внутренней ф-ии в точке x
        //проверка, что innerValue в о.о. внешней ф-ии
        if (innerValue < outer.getLeftDomainBorder() ||
            innerValue > outer.getRightDomainBorder()) {
            return Double.NaN;
        }
        return outer.getFunctionValue(innerValue); //знач. внешней ф-ии от результата внутренней
    }
}

//о.о - область определения

```

- Composition - композиция функций

В Классе Scale нужно было корректно обработать отрицательные коэффициенты масштабирования.

## Задание 5

Класс Functions содержит статические методы для удобного создания комбинированных функций. Например, вместо прямого создания объекта Sum можно использовать Functions.sum(f1, f2)

Сделала конструктор приватным, чтобы предотвратить создание экземпляров этого служебного класса.

## **Задание 6**

Метод `TabulatedFunctions.tabulate()` позволяет преобразовать любую аналитическую функцию в табулированную. Он проверяет, что запрошенный интервал попадает в область определения исходной функции.

## **Задание 7**

Реализовала четыре метода для работы с потоками:

- Байтовые потоки - для эффективного хранения
- Символьные потоки - для читаемого формата

При работе с символьными потоками использовала `StreamTokenizer` для удобного разбора чисел. Исключения `IOException` преобразую в `RuntimeException` для упрощения кода использования.

## **Задание 8**

Протестировала все возможности системы:

1. Базовые функции - убедилась, что `Sin` и `Cos` работают корректно
2. Математические тождества - проверила, что  $\sin^2(x) + \cos^2(x) = 1$
3. Ввод-вывод - сравнила разные форматы хранения

Выводы по форматам:

- Текстовый формат удобен для отладки, но занимает больше места
- Бинарный формат компактен и быстр, но не читаем человеком

## **Задание 9**

Реализовала сериализацию через Serializable. Протестировала на композиции  $\ln(\exp(x))$  - после сериализации и десериализации функция полностью сохраняет свои свойства.

В ходе работы успешно расширена функциональность пакета для работы с функциями. Основные достижения:

## **ИТОГ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ:**

### **ТЕСТИРОВАНИЕ**

#### **1. Sin и Cos от 0 до $\pi$ с шагом 0.1:**

**Sin:**

**x=0,0: 0,0000**

**x=0,1: 0,0998**

**x=0,2: 0,1987**

**x=0,3: 0,2955**

**x=0,4: 0,3894**

**x=0,5: 0,4794**

**x=0,6: 0,5646**

**x=0,7: 0,6442**

**x=0,8: 0,7174**

**x=0,9: 0,7833**

**x=1,0: 0,8415**

**x=1,1: 0,8912**

**x=1,2: 0,9320**

**x=1,3: 0,9636**

**x=1,4: 0,9854**

**x=1,5: 0,9975**

**x=1,6: 0,9996**

**x=1,7: 0,9917**

**x=1,8: 0,9738**

**x=1,9: 0,9463**

**x=2,0: 0,9093**

**x=2,1: 0,8632**

**x=2,2: 0,8085**

**x=2,3: 0,7457**

**x=2,4: 0,6755**

**x=2,5: 0,5985**

**x=2,6: 0,5155**

**x=2,7: 0,4274**

**x=2,8: 0,3350**

**x=2,9: 0,2392**

**x=3,0: 0,1411**

**x=3,1: 0,0416**

**Cos:**

**x=0,0: 1,0000**

**x=0,1: 0,9950**

**x=0,2: 0,9801**

**x=0,3: 0,9553**

**x=0,4: 0,9211**

**x=0,5: 0,8776**

**x=0,6: 0,8253**

**x=0,7: 0,7648**

**x=0,8: 0,6967**

**x=0,9: 0,6216**

**x=1,0: 0,5403**

**x=1,1: 0,4536**

**x=1,2: 0,3624**

**x=1,3: 0,2675**

**x=1,4: 0,1700**

**x=1,5: 0,0707**

**x=1,6: -0,0292**

**x=1,7: -0,1288**

**x=1,8: -0,2272**

**x=1,9: -0,3233**

**x=2,0: -0,4161**

**x=2,1: -0,5048**

**x=2,2: -0,5885**

**x=2,3: -0,6663**

**x=2,4: -0,7374**

**x=2,5: -0,8011**

**x=2,6: -0,8569**

**x=2,7: -0,9041**

**x=2,8: -0,9422**

**x=2,9: -0,9710**

**x=3,0: -0,9900**

**x=3,1: -0,9991**

## **2. Табулированные аналоги :**

**Сравнение Sin:**

**x=0,0: аналитич. = 0,0000; табул. = 0,0000**

**x=0,1: аналитич. = 0,0998; табул. = 0,0980**

**x=0,2: аналитич. = 0,1987; табул. = 0,1960**

**x=0,3: аналитич. = 0,2955; табул. = 0,2939**

**x=0,4: аналитич. = 0,3894; табул. = 0,3859**

**x=0,5: аналитич. = 0,4794; табул. = 0,4721**

**x=0,6: аналитич. = 0,5646; табул. = 0,5582**

**x=0,7: аналитич. = 0,6442; табул. = 0,6440**

**x=0,8: аналитич. = 0,7174; табул. = 0,7079**

**x=0,9: аналитич. = 0,7833; табул. = 0,7719**

**x=1,0: аналитич. = 0,8415; табул. = 0,8358**

**x=1,1: аналитич. = 0,8912; табул. = 0,8840**

**x=1,2: аналитич. = 0,9320; табул. = 0,9180**

**x=1,3: аналитич. = 0,9636; табул. = 0,9521**

**x=1,4: аналитич. = 0,9854; табул. = 0,9848**

**x=1,5: аналитич. = 0,9975; табул. = 0,9848**

**x=1,6: аналитич. = 0,9996; табул. = 0,9848**

**x=1,7: аналитич. = 0,9917; табул. = 0,9848**

**x=1,8: аналитич. = 0,9738; табул. = 0,9662**

**x=1,9: аналитич. = 0,9463; табул. = 0,9322**

**x=2,0: аналитич. = 0,9093; табул. = 0,8981**

**x=2,1: аналитич. = 0,8632; табул. = 0,8624**

**x=2,2: аналитич. = 0,8085; табул. = 0,7985**

**x=2,3: аналитич. = 0,7457; табул. = 0,7345**

**x=2,4: аналитич. = 0,6755; табул. = 0,6706**

**x=2,5: аналитич. = 0,5985; табул. = 0,5941**

**x=2,6: аналитич. = 0,5155; табул. = 0,5079**

**x=2,7: аналитич. = 0,4274; табул. = 0,4217**

**x=2,8: аналитич. = 0,3350; табул. = 0,3347**

**x=2,9: аналитич. = 0,2392; табул. = 0,2367**

**x=3,0: аналитич. = 0,1411; табул. = 0,1387**

**x=3,1: аналитич. = 0,0416; табул. = 0,0408**

### **3. ---ТЕСТИРОВАНИЕ КОМБИНАЦИЙ ФУНКЦИЙ---**

**Проверка тождества  $\sin^2(x) + \cos^2(x) = 1$ :**

$$\sin^2(0,0) + \cos^2(0,0) = 1,0000$$

$$\sin^2(0,1) + \cos^2(0,1) = 0,9753$$

$$\sin^2(0,2) + \cos^2(0,2) = 0,9705$$

$$\sin^2(0,3) + \cos^2(0,3) = 0,9854$$

$$\sin^2(0,4) + \cos^2(0,4) = 0,9850$$

$$\sin^2(0,5) + \cos^2(0,5) = 0,9704$$

$$\sin^2(0,6) + \cos^2(0,6) = 0,9756$$

$$\sin^2(0,7) + \cos^2(0,7) = 0,9994$$

$$\sin^2(0,8) + \cos^2(0,8) = 0,9751$$

$$\sin^2(0,9) + \cos^2(0,9) = 0,9706$$

$$\sin^2(1,0) + \cos^2(1,0) = 0,9859$$

$$\sin^2(1,1) + \cos^2(1,1) = 0,9845$$

$$\sin^2(1,2) + \cos^2(1,2) = 0,9703$$

$$\sin^2(1,3) + \cos^2(1,3) = 0,9759$$

$$\sin^2(1,4) + \cos^2(1,4) = 0,9987$$

$$\sin^2(1,5) + \cos^2(1,5) = 0,9748$$

$$\sin^2(1,6) + \cos^2(1,6) = 0,9707$$

$$\sin^2(1,7) + \cos^2(1,7) = 0,9864$$

$$\sin^2(1,8) + \cos^2(1,8) = 0,9841$$

$$\sin^2(1,9) + \cos^2(1,9) = 0,9702$$

$$\sin^2(2,0) + \cos^2(2,0) = 0,9762$$

$$\sin^2(2,1) + \cos^2(2,1) = 0,9981$$

$$\sin^2(2,2) + \cos^2(2,2) = 0,9745$$

$$\sin^2(2,3) + \cos^2(2,3) = 0,9708$$

$$\sin^2(2,4) + \cos^2(2,4) = 0,9869$$

$$\sin^2(2,5) + \cos^2(2,5) = 0,9836$$

$\sin^2(2,6) + \cos^2(2,6) = 0,9702$

$\sin^2(2,7) + \cos^2(2,7) = 0,9765$

$\sin^2(2,8) + \cos^2(2,8) = 0,9975$

$\sin^2(2,9) + \cos^2(2,9) = 0,9743$

$\sin^2(3,0) + \cos^2(3,0) = 0,9709$

$\sin^2(3,1) + \cos^2(3,1) = 0,9873$

#### 4. Экспонента - текстовый файл:

Сравнение экспоненты:

$x=0$ : исходная = 1,0000; из файла = 1,0000

$x=1$ : исходная = 2,7183; из файла = 2,7183

$x=2$ : исходная = 7,3891; из файла = 7,3891

$x=3$ : исходная = 20,0855; из файла = 20,0855

$x=4$ : исходная = 54,5982; из файла = 54,5982

$x=5$ : исходная = 148,4132; из файла = 148,4132

$x=6$ : исходная = 403,4288; из файла = 403,4288

$x=7$ : исходная = 1096,6332; из файла = 1096,6332

$x=8$ : исходная = 2980,9580; из файла = 2980,9580

$x=9$ : исходная = 8103,0839; из файла = 8103,0839

$x=10$ : исходная = 22026,4658; из файла = 22026,4658

#### 5. Логарифм - бинарный файл:

Сравнение логарифма:

$x=1$ : исходная = -0,1310; из файла = -0,1310

$x=2$ : исходная = 0,6802; из файла = 0,6802

$x=3$ : исходная = 1,0942; из файла = 1,0942

$x=4$ : исходная = 1,3842; из файла = 1,3842

$x=5$ : исходная = 1,6084; из файла = 1,6084

**x=6: исходная = 1,7912; из файла = 1,7912**  
**x=7: исходная = 1,9456; из файла = 1,9456**  
**x=8: исходная = 2,0793; из файла = 2,0793**  
**x=9: исходная = 2,1972; из файла = 2,1972**  
**x=10: исходная = 2,3026; из файла = 2,3026**

**--- ТЕСТИРОВАНИЕ СЕРИАЛИЗАЦИИ ---**

**исходные функции ( $\log(\exp(x))$ ):**

**x=0,0: array=0,0000, list=0,0000**  
**x=1,0: array=1,0000, list=1,0000**  
**x=2,0: array=2,0000, list=2,0000**  
**x=3,0: array=3,0000, list=3,0000**  
**x=4,0: array=4,0000, list=4,0000**  
**x=5,0: array=5,0000, list=5,0000**  
**x=6,0: array=6,0000, list=6,0000**  
**x=7,0: array=7,0000, list=7,0000**  
**x=8,0: array=8,0000, list=8,0000**  
**x=9,0: array=9,0000, list=9,0000**  
**x=10,0: array=10,0000, list=10,0000**

**--- ArrayTabulatedFunction (Serializable) ---**

**сравнение Array после Serializable:**

**Ошибка: functions.FunctionPoint**