

[minimum width=minimum height=anchor=center] (blocktitle)at (, +); [minimum width=minimum height=anchor=center] (blockbody)at (, -0.5);
[line width=rounded corners=0] [draw=none](blockbody.south west) rectangle (blocktitle.north east); [color=blocktitlebgcolor, loosely dashed] (blocktitle.south west) – (blocktitle.south east);
[text width=, inner sep=anchor=center]at (blocktitle) ; [text width=, inner sep=anchor=center]at

(blockbody) Исследование посвящено разработке алгоритма построения фрактала «Кривая Коха» на языке Python. Рассмотрены математические основы и практическая реализация с использованием рекурсивных методов. Ключевые слова: фракталы, кривая Коха, Python, рекурсия, геометрические преобразования.

[minimum width=minimum height=anchor=center] (blocktitle)at (, +); [minimum width=minimum height=anchor=center] (blockbody)at (, -0.5);
[line width=rounded corners=0] [draw=none](blockbody.south west) rectangle (blocktitle.north east); [color=blocktitlebgcolor, loosely dashed] (blocktitle.south west) – (blocktitle.south east);
[text width=, inner sep=anchor=center]at (blocktitle) ; [text width=, inner sep=anchor=center]at

(blockbody) Фракталы — геометрические объекты с бесконечно самоподобной структурой, сохраняющейся при любом масштабе. Кривая Коха — классический фрактал, описанный шведским математиком Хельге фон Кохом в 1904 году. Является непрерывной, но нигде не дифференцируемой кривой.

 Итерационное построение кривой Коха

[minimum width=minimum height=anchor=center] (blocktitle)at (, +); [minimum width=minimum height=anchor=center] (blockbody)at (, -0.5);
[line width=rounded corners=0] [draw=none](blockbody.south west) rectangle (blocktitle.north east); [color=blocktitlebgcolor, loosely dashed] (blocktitle.south west) – (blocktitle.south east);
[text width=, inner sep=anchor=center]at (blocktitle) ; [text width=, inner sep=anchor=center]at

Основные формулы:
Длина кривой на n-ой итерации:
$$L_n = L_0 \times \left(\frac{4}{3}\right)^n$$

Количество элементарных отрезков:
$$N_n = 4^n$$

(blockbody) Фрактальная размерность (размерность Хаусдорфа):
$$D = \frac{\log 4}{\log 3} \approx 1.26186$$

Геометрическое построение: Каждый отрезок делится на 3 равные части, средняя часть заменяется на два отрезка длиной 1/3, образующих равносторонний треугольник.

[minimum width=minimum height=anchor=center] (blocktitle)at (, +); [minimum width=minimum height=anchor=center] (blockbody)at (, -0.5);
[line width=rounded corners=0] [draw=none](blockbody.south west) rectangle (blocktitle.north east); [color=blocktitlebgcolor, loosely dashed] (blocktitle.south west) – (blocktitle.south east);
[text width=, inner sep=anchor=center]at (blocktitle) ; [text width=, inner sep=anchor=center]at

(blockbody) Рекурсивный подход:

```
def koch_curve(t, length, depth):  
    """t - length - depth - "" if depth == 0 : t.forward(length) else :  
    3length / 3.04 koch_curve(t, length, depth - 1) t.left(60) 60 koch_curve(t, length, depth - 1) t.right(120) 120 koch_curve(t, length, depth - 1) t.left(60) 60 koch_curve(t, length, depth - 1)  
def koch_now_flake(t, length, depth):  
    for n in range(3):  
        koch_curve(t, length, depth) t.right(120)
```

[minimum width=minimum height=anchor=center] (blocktitle)at (, +); [minimum width=minimum height=anchor=center] (blockbody)at (, -0.5);
[line width=rounded corners=0] [draw=none](blockbody.south west) rectangle (blocktitle.north east); [color=blocktitlebgcolor, loosely dashed] (blocktitle.south west) – (blocktitle.south east);
[text width=, inner sep=anchor=center]at (blocktitle) ; [text width=, inner sep=anchor=center]at

Инструменты и технологии:
• Python 3.8+
• Turtle Graphics для визуализации
• Matplotlib для анализа данных
• Time module для измерения производительности
(blockbody) Методика исследования:
• Анализ рекурсивных алгоритмов
• Исследование вычислительной сложности
• Визуализация геометрических преобразований
• Сравнение теоретических и практических результатов

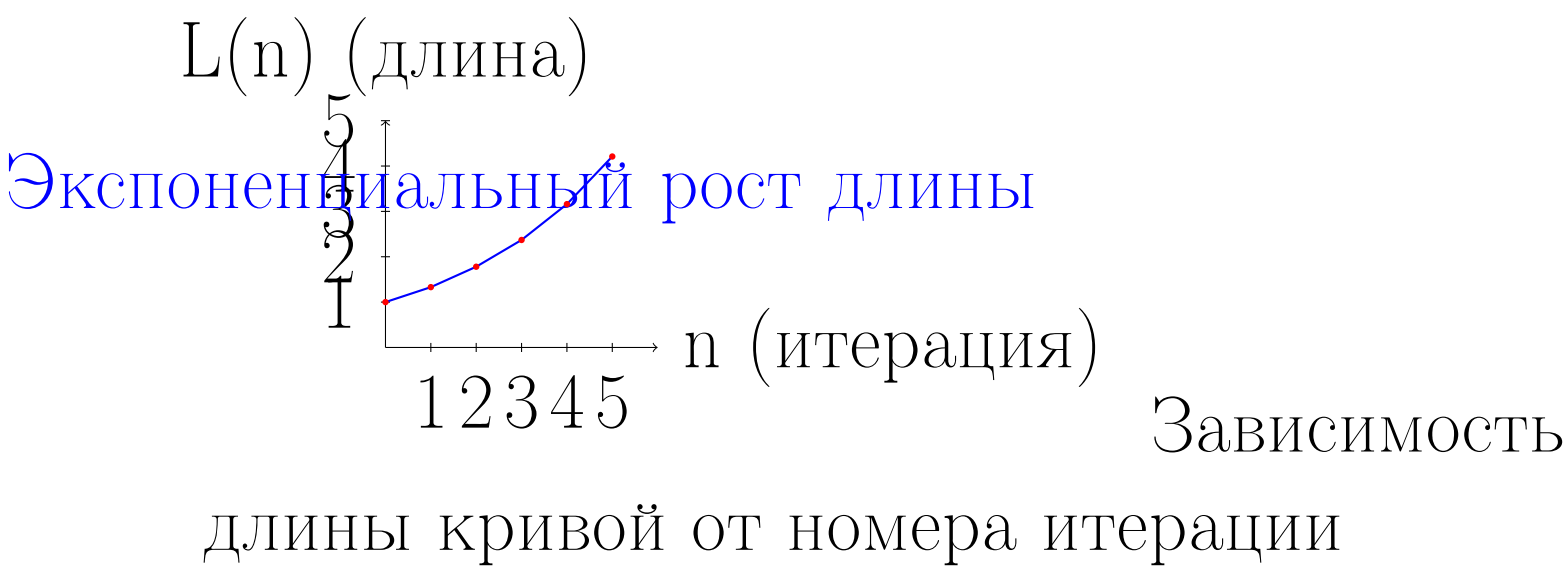
[minimum width=minimum height=anchor=center] (blocktitle)at (, +); [minimum width=minimum height=anchor=center] (blockbody)at (, -0.5);
[line width=rounded corners=0] [draw=none](blockbody.south west) rectangle (blocktitle.north east); [color=blocktitlebgcolor, loosely dashed] (blocktitle.south west) – (blocktitle.south east);
[text width=, inner sep=anchor=center]at (blocktitle) ; [text width=, inner sep=anchor=center]at

Численные характеристики:

n	Отрезки	Длина	Время (с)
0	1	1.00	0.001
1	4	1.33	0.005
2	16	1.78	0.021
3	64	2.37	0.085
4	256	3.16	0.341
5	1024	4.21	1.364

(blockbody)  Снежинка Коха на разных итерациях

Диаграмма роста длины:



[minimum width=minimum height=anchor=center] (blocktitle)at (, +); [minimum width=minimum height=anchor=center] (blockbody)at (, -0.5);
[line width=rounded corners=0] [draw=none](blockbody.south west) rectangle (blocktitle.north east); [color=blocktitlebgcolor, loosely dashed] (blocktitle.south west) – (blocktitle.south east);
[text width=, inner sep=anchor=center]at (blocktitle) ; [text width=, inner sep=anchor=center]at

Основные результаты:

- Успешно реализован рекурсивный алгоритм построения кривой Коха
- Исследованы фрактальные свойства кривой (самоподобие, размерность)
- Проанализирована вычислительная сложность алгоритма: $O(4^n)$
- (blockbody) • Подтверждены теоретические расчеты длины кривой

Практическое применение:

- Образовательные цели в математике и информатике
- Компьютерная графика и моделирование природных объектов
- Исследование рекурсивных алгоритмов
- Основы фрактальной геометрии

let 1 = (blockbody.south) in node ;

[minimum width=minimum height=anchor=center] (blocktitle)at (, +); [minimum width=minimum height=anchor=center] (blockbody)at (, -0.5);

[line width=rounded corners=0] [draw=none](blockbody.south west) rectangle (blocktitle.north east); [color=blocktitlebgcolor, loosely dashed] (blocktitle.south west) – (blocktitle.south east);

[text width=, inner sep=anchor=center]at (blocktitle) ; [text width=, inner sep=anchor=center]at

1. Mandelbrot B. B. The Fractal Geometry of Nature. — 1982.

2. Peitgen H.-O., Jürgens H., Saupe D. Chaos and Fractals. — 1992.

(blockbody) 3. Федер Е. Фракталы. — М.: Мир, 1991.

4. Python Documentation. — 2024.

5. Кроновер Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. — 2000.

let 1 = (blockbody.south) in node ;

