

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра МО ЭВМ**

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе №2**  
**по дисциплине «Построение и Анализ Алгоритмов»**  
**Тема: Кратчайшие пути в графе: коммивояжёр.**

Студент гр. 3343

Малиновский А.А.

Преподаватель

Жангиров Т.Р.

Санкт-Петербург

2025

## **Цель работы.**

Изучить принцип работы алгоритмов нахождения пути коммивояжера на графах.

## **Задание.**

### **Вариант 1**

Метод Ветвей и Границ: Алгоритм Литтла. Приближённый алгоритм: 2-приближение по МиД (Алгоритм двойного обхода минимального остовного дерева ). Замечание к варианту 1 АДО МОД является 2-приближением только для евклидовой матрицы. Начинать обход МОД со стартовой вершины.

Независимо от варианта, при сдаче работы должна быть возможность генерировать матрицу весов (произвольную или симметричную; для варианта 4- симметричную), сохранять её в файл и использовать в качестве входных данных

## **Описание алгоритма Литтла.**

Алгоритм Литла - это алгоритм для решения задачи коммивояжера. Он основан на методе ветвей и границ. На вход подаётся матрица смежности графа. Сначала алгоритм проводит редукцию матрицы (находит минимальные элементы в каждой строке и вычитает их из каждого элемента строки, то же самое со столбцами). После этого происходит поиск “тяжёлого нуля”, рассматриваются элемент в этой же строке и в этом же столбце, среди них выбирается минимальный. Далее происходит ветвление: в левой ветви из левой ветви удаляется строка и столбец содержащие “тяжёлый ноль”, попутно находя самый больший путь содержащий ребро и запрещая движение из конца этого пути в начало, чтобы не образовать цикл, в правой ветви элемент относительно которого проводилось ветвлении становится  $+\infty$ . На каждом шаг запоминается его стоимость. При нахождении первого решения, делаем его минимально возможным, чтобы в дальнейшем отсекал ветви которые

заведомо больше минимального. В случае нахождения еще меньшего решения, уже оно становится минимальным. Это помогает избежать полного обхода дерева решений. Таким образом, в итоге получается оптимальное решение для данной матрицы смежности.

#### **Оценка сложности по времени:**

Поиск элемента со значением 0, который имеет наибольшее значение суммы минимальных элементов:  $O(n^2)$

Редукция матрицы:  $O(n^2)$

Рекурсивный вызов метода `method_Little`: в худшем случае происходит проход по всему бинарному дереву поиска, количество элементов в нем равно  $2^n - 1$ , где  $n$  - размерность матрицы смежности. На каждом уровне рекурсии выполняются операции поиска элемента со значением 0 и редукции матрицы, каждая из которых имеет сложность  $O(n^2)$ .

Следовательно, сложность рекурсивного вызова метода равна  $O((2^n - 1) * n^2)$ . Таким образом, общая сложность алгоритма равна  $O((2^n - 1) * n^2)$ .

#### **Оценка сложности по памяти:**

Рекурсивный вызов метода `method_Little`: в худшем случае происходит проход по всему бинарному дереву поиска, количество элементов в нем равно  $2^n - 1$ , где  $n$  - количество вершин в графе. На каждом уровне рекурсии создается копия матрицы смежности графа, что занимает  $O(n^2)$  памяти. Следовательно, общая сложность по памяти равна  $O((2^n - 1) * n^2)$ .

#### **Описание реализованных классов**

**Класс `MatrixHandler`** предназначен для работы с матрицами и включает методы для их обработки и анализа. Вот краткое описание класса и его методов:

**Методы:**

1. **`__init__(self, matrix: list[list])`**

Инициализирует объект класса, сохраняя переданную матрицу в атрибуте `self.matrix`.

2. **`__len__(self)`**

Возвращает количество строк в матрице.

3. **`__getitem__(self, index: int)`**

Возвращает строку матрицы по указанному индексу. Если индекс выходит за пределы, вызывает исключение `IndexError`.

4. **`print_matrix(self)`**

Выводит матрицу построчно на экран.

5. **`min_except(self, lst: list, idx: int)`**

Возвращает минимальный элемент списка, исключая элемент с указанным индексом.

6. **`reduct(self)`**

Выполняет редукцию матрицы: вычитает минимальный элемент из каждой строки и каждого столбца. Возвращает общую стоимость редукции. Если встречается бесконечность (`math.inf`), возвращает `-1`.

7. **`find_heavy_zero(self)`**

Находит "тяжелый ноль" — нулевой элемент с максимальной суммой минимальных элементов в его строке и столбце. Возвращает координаты этого элемента.

8. **`find_longest_path(self, solution: dict, edge: tuple)`**

Находит самый длинный путь в графе на основе текущего решения и ребра. Возвращает путь в виде списка.

9. **`forbid_cycles(self, path: list, i_index: list, j_index: list)`**

Запрещает ребро, которое замыкает цикл в графе, устанавливая соответствующее значение в матрице на `math.inf`.

**10. `delete_row_column(self, i: int, j: int, solution: dict, i_index: list, j_index: list)`**

Удаляет строку и столбец из матрицы по указанным индексам, обновляет решение и запрещает циклы, если они возникают.

### **Класс `LittleAlgorithm`**

Реализует алгоритм Литтла.

**1. `__init__(self, matrix: list[list])`** — Инициализирует объект класса, сохраняя матрицу и настраивая начальные значения.

**2. `answer(self, start: int) -> list[int]`** — Возвращает путь, начиная с указанной вершины, на основе лучшего решения.

**3. `collect_tree_data(self, current_cost: int, parent_node: str, step_cost: float, i_index: list[int], j_index: list[int], branching_arc: tuple[int, int] = None)`** **-> str** — Собирает данные о текущем состоянии матрицы для визуализации дерева решений.

**4. `handle2x2(self, tmp_solution: dict, current_cost: float, i_index: list[int], j_index: list[int]) -> None`** — Обрабатывает матрицу 2x2, обновляя лучшее решение.

**5. `method_Little(self, matrix: list[list], tmp_solution: dict, cur_cost: float, i_index: list[int], j_index: list[int], parent_node: str = None,`**

**branching\_arc: tuple[int, int] = None) -> None** — Реализует алгоритм Литтла, рекурсивно выполняя ветвление и ограничение.

### **Описание алгоритма АДО МОД.**

Алгоритм приближенного решения задачи коммивояжера находит приближенное решение, основываясь на методе минимального остовного дерева (МОД) и проходя по графу МОД с помощью поиска в глубину. Сначала алгоритм находит МОД в заданном графе, используя алгоритм Прима. Затем на основе МОД строится новый граф, в котором каждая вершина соединена с ближайшей вершиной в МОД. Поиск в глубину используется для обхода построенного графа, начиная с заданной начальной вершины. На выходе алгоритм возвращает гамильтонов цикл, который соответствует обходу графа МОД с помощью поиска в глубину, и стоимость этого цикла, которая вычисляется как сумма весов ребер на цикле.

### **Сложность по времени алгоритма:**

Сложность алгоритма Прима в наихудшем случае составляет  $O(V^2 + E)$ , где  $V$ - количество вершин в графе,  $E$ - количество ребер. Это происходит из-за необходимости просматривать все вершины в каждой итерации. Кроме того, на каждой итерации необходимо искать минимальное ребро из множества непосещенных вершин, что также занимает  $O(V^2)$  времени. Сложность второго обхода по полученному дереву равна  $O(V + E)$ . Это происходит из-за необходимости просмотреть все вершины и ребра в дереве. Таким образом, общая сложность алгоритма равна  $O(V^2 + E)$ , где  $V$ - количество вершин в графе,  $E$ - количество ребер.

### **Сложность по памяти алгоритма:**

Относительно памяти, в алгоритме Прима используется двумерный массив вершин размером  $n^2$ , массив посещенных вершин размером  $n$ , массив ребер размером  $n-1$ . Во втором обходе используется массив пути по вершинам

размером  $n$ . Таким образом, общая сложность по памяти составляет  $O(n^2 + 3n) = O(n^2)$ .

Класс **ADO\_MOD\_algorithm**: Реализует алгоритм для нахождения приближённого решения задачи коммивояжёра через построение минимального остовного дерева и поиск в глубину.

**\_\_init\_\_(self, matrix: list[list[int]]) -> None**

Инициализирует объект класса, сохраняя исходную матрицу и создавая пустой список для остовного дерева.

**prim(self, start: int) -> None**

Реализует алгоритм Прима для построения минимального остовного дерева, начиная с заданной вершины.

**dfs(self, matr: list[list[int]], start: int, res: list[int]) -> None**

Выполняет поиск в глубину (DFS) для обхода остовного дерева и построения пути.

**def find\_res(self, start: int) -> list[int]**

Находит приближённое решение задачи коммивояжёра, используя минимальное остовное дерево и поиск в глубину, и возвращает путь.

Также созданы классы Menu для возможности выбора алгоритма, MatrixCreator для создания, сохранения и загрузки матрицы, Visualiser для отображения пути коммивояжёра и построения дерева решений для алгоритма Литтла.

Код программы смотреть в приложении А.

### **Тестирование.**

Тестируем Алгоритм Литтла, потому что он даёт оптимальное решение.

.

Ввод	Вывод	Ожидаемый результат
<pre>[inf, 14, 20, 19, 18] [11, inf, 19, 18, 19] [12, 15, inf, 12, 18] [10, 13, 16, inf, 13] [12, 10, 10, 12, inf]</pre>	<p>Лучший путь: [1, 5, 3, 4, 2] Минимал ьная стоимост ь: 64</p>	Результат верный
<pre>[inf, 14, 19, 20, 14, 13, 13] [10, inf, 20, 13, 20, 15, 11] [14, 17, inf, 13, 10, 14, 16] [16, 13, 18, inf, 13, 16, 16] [10, 13, 14, 19, inf, 18, 15] [15, 20, 17, 13, 19, inf, 20] [16, 14, 12, 16, 17, 18, inf]</pre>	<p>Лучший путь: [1, 6, 4, 2, 7, 3, 5] Минимал ьная стоимост ь: 82</p>	Результат верный
<pre>[inf, 10, 13] [12, inf, 15] [10, 11, inf]</pre>	<p>Лучший путь: [1, 2, 3] Минимал ьная стоимост ь: 35</p>	Результат верный

Также были можно увидеть дерево решений для алгоритма Литтла и также итоговый путь коммивояжёра

Пример для матрицы

```
[inf, 15, 11, 17, 19]
[18, inf, 13, 11, 16]
[20, 16, inf, 16, 15]
[11, 11, 16, inf, 18]
[17, 20, 18, 12, inf]
```



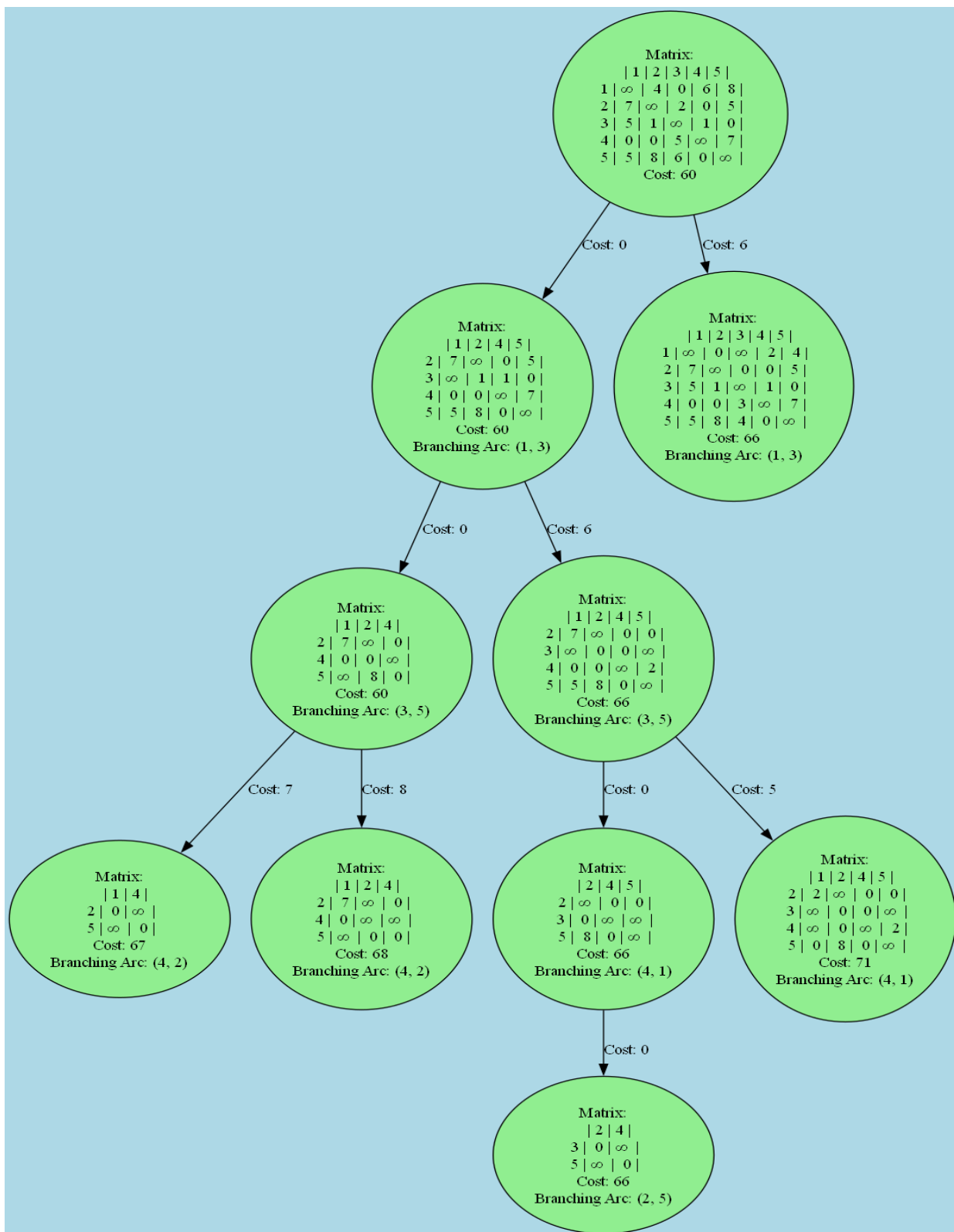


Рисунок 1 – Дерево принятия решения для алгоритма Литтла

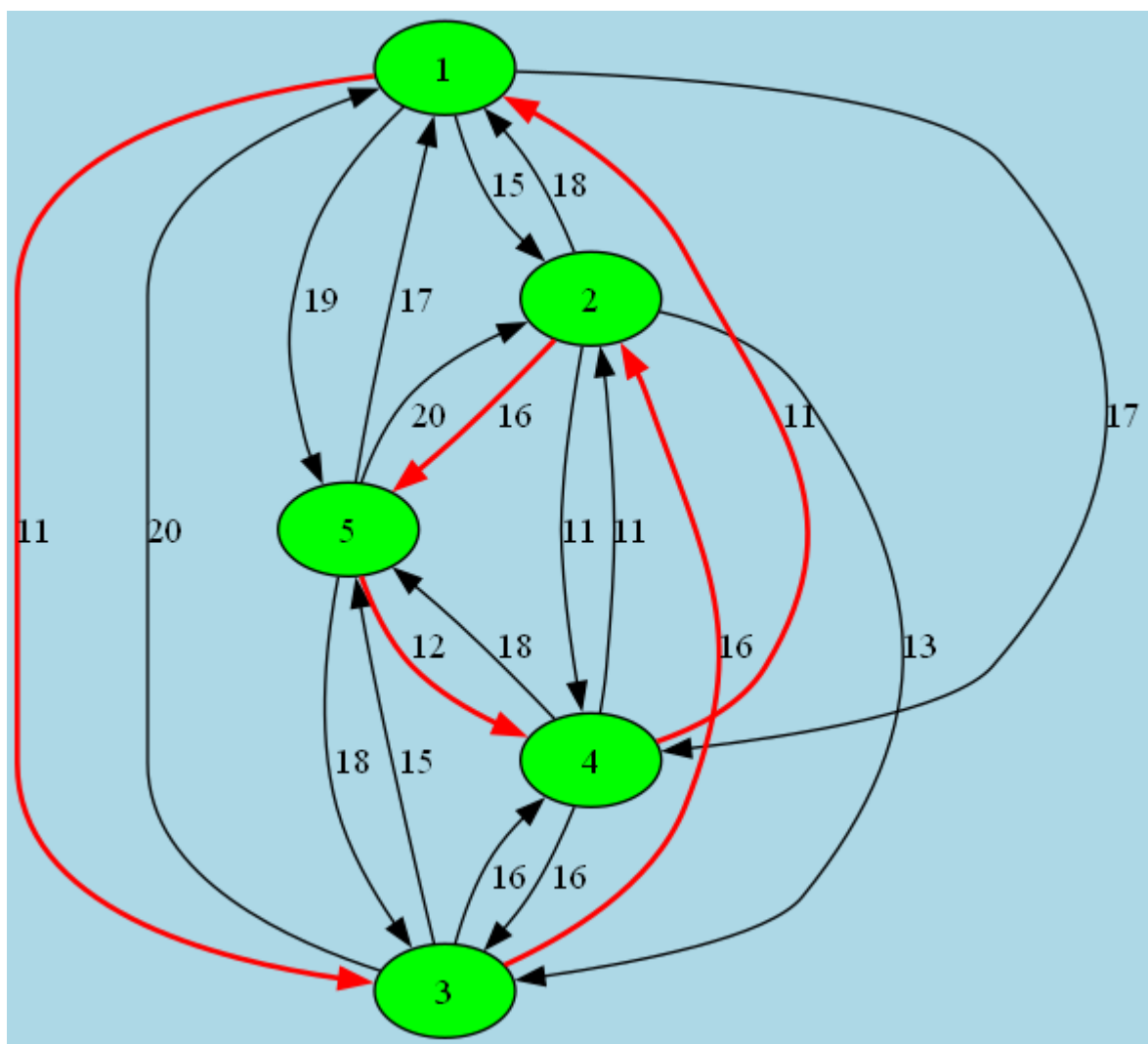


Рисунок 2 – Путь коммивояжёра

**Исследование.**

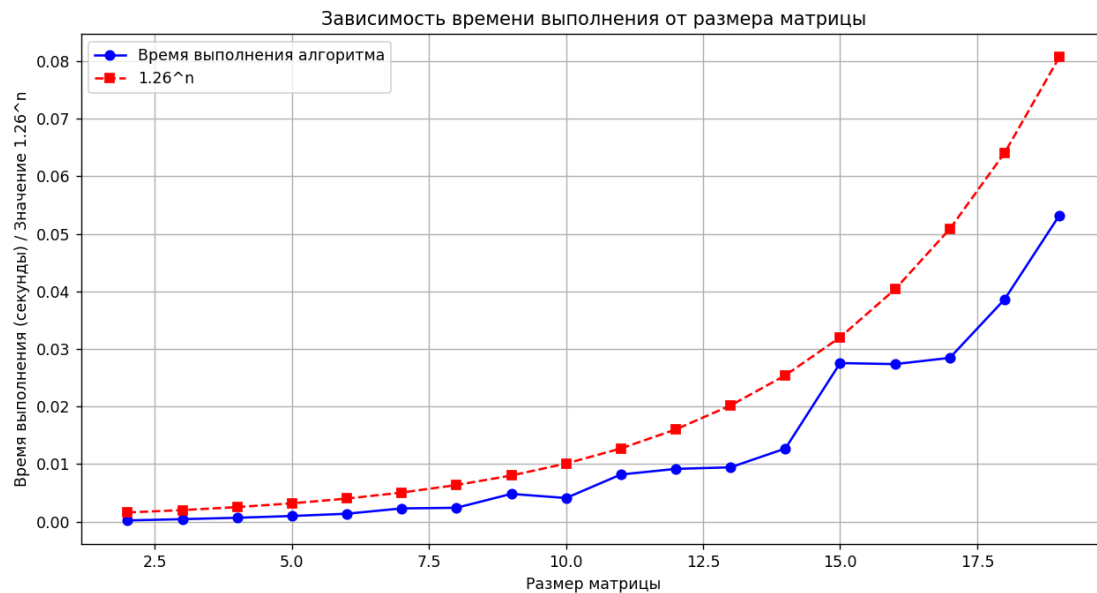


Рисунок 3 - График зависимости размера случайной матрицы от времени выполнения алгоритма Литтла

Экспериментальная сложность алгоритма примерно  $O(c^n)$ , где  $c$  примерно равно 1.26 (эмпирический результат).

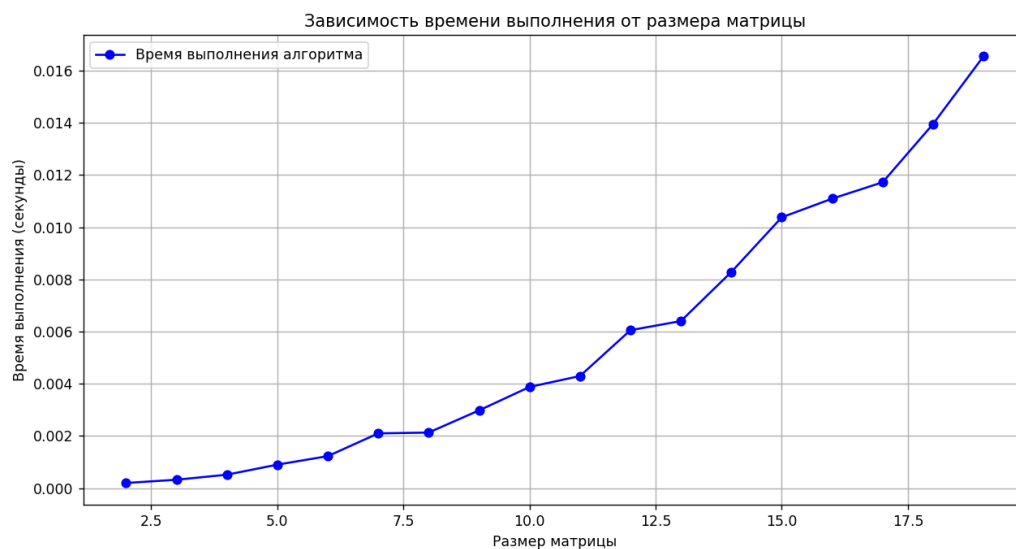


Рисунок 4 - График зависимости размера случайной матрицы от времени выполнения алгоритма АДО МОД

Можно увидеть, что алгоритм АДО МОД выполняется гораздо быстрее, но он не даёт точного решения. Этот алгоритм можно использовать для поиска нижней границы для алгоритма Литтла, который выполняется медленнее, но даёт самое оптимальное решение

### **Выводы.**

В результате работы была написана программа, решающая поставленную задачу с использованием приближённого алгоритма АДО МОД и оптимального алгоритма Литтла. Программа была протестирована, результаты тестов совпали с ожидаемыми.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### ИСХОДНЫЙ КОД ПРОГРАММЫ

Название файла: ADO\_MOD\_algorithm.py

```
# import copy
import math
from MatrixCreator import MatrixCreator
from MatrixHandler import MatrixHandler
from Visualiser import Visualiser

class ADO_MOD_algorithm:
    def __init__(self, matrix: list[list[int]]) -> None:
        self.src_matrix=copy.deepcopy(matrix)
        self.matrix=matrix
        self.ost=[]

    def prim(self, start: int) -> None:
        # будущее остовное дерево
        self.ost = [[0 for i in range(len(self.matrix))] for i in
range(len(self.matrix))]
        visited = [start]                #вершины, уже включенные в дерево
        weight = []
        while(len(visited) != len(self.matrix)):
            for row in self.ost:
                print(row)
            print("Включенные вершины:", *[x+1 for x in visited])
            min_w = math.inf
            i, j = 0, 0
            # проходим по всем вершинам остовного дерева
            for elem in visited:
                if min_w > min(self.matrix[elem]):
                    print(self.matrix[elem])
                    # находим самое легкое ребро
                    min_w = min(self.matrix[elem])
                    i = elem
                    j = self.matrix[elem].index(min_w)
                    print("Найдена новая вершина для добавления:", j+1, " вес
ребра = ", min_w)
                if j not in visited:
                    print("Добавляем вершину в МОД")
                    weight.append(min_w)
                    visited.append(j)
                    self.ost[i][j] = min_w
                    self.ost[j][i] = min_w
                    self.matrix[i][j] = math.inf
                    print(f'Вычеркнем ребро {i+1} {j+1} из графа')

#поиск в глубину
def dfs(self, matr: list[list[int]], start: int, res: list[int]) -> None:
    for i, elem in enumerate(matr[start]):
        if i not in res:
            res.append(i)
            print("Текущий путь:", [x+1 for x in res])
            self.dfs(matr, i, res)
        if len(res) == len(matr):
            return

def find_res(self, start: int) -> list[int]:
    start=start-1
```

```

        self.prim( start)
        way = [start]
        print("Запущен поиск в глубину")
        self.dfs(self.ost, start, way)
        i, j = 0, 1
        cost = 0
        while j < len(way):
            cost += self.src_matrix[way[i]][way[j]]
            i+=1
            j+=1
        cost += self.src_matrix[way[i]][way[0]]
        print("Полученный приближенный путь коммивояжера:", ' - '.join(str(x)
for x in [i + 1 for i in way]))
        print("Его стоимость:", cost)
        return [x+1 for x in way ]

if __name__ == '__main__':
    matrix = [
        [math.inf, 27, 43, 16, 30, 26],
        [7, math.inf, 16, 1, 30, 25],
        [20, 13, math.inf, 35, 5, 0],
        [21, 16, 25, math.inf, 18, 18],
        [12, 46, 27, 48, math.inf, 5],
        [23, 5, 5, 9, 5, math.inf]
    ]
    matrix=[ [math.inf, 7, 2],
[3, math.inf, 6],
[7, 4, math.inf],]
    b=copy.deepcopy(matrix)
    #matrix=MatrixCreator().generate_euclidean_matrix(size=10,dimensions=10)
    #MatrixCreator().save_matrix(matrix,"matrix.txt")
    #matrix=MatrixCreator().load_matrix("matrix.txt")
    start =2
    solution=ADO_MOD_algorithm(matrix).find_res(start)
    Visualiser().visualise_graph(b,solution)#endif

```

## Название файла: LittleAlgorithm.py

```

import copy
import math
import time
from MatrixCreator import MatrixCreator
from MatrixHandler import MatrixHandler
from Visualiser import Visualiser

class LittleAlgorithm:
    def __init__(self, matrix:list[list[int]])->None:
        self.matrix_handler = MatrixHandler(matrix)
        self.best_solution = {}
        self.min_cost = math.inf
        self.tree_data = []

    def answer(self, start: int) -> list[int]:
        next_node = self.best_solution[start]
        res = [start]
        while next_node != start:
            res.append(next_node)
            next_node = self.best_solution[next_node]
        return res

```

```

def collect_tree_data(self, current_cost: int, parent_node: str,
step_cost: float, i_index: list[int],
j_index: list[int], branching_arc: tuple[int, int]
= None) -> str:
    j_index_shifted = [j + 1 for j in j_index]
    header = " | " + " | ".join(map(str, j_index_shifted)) + " |"
    matrix_rows = []
    for i, row in enumerate(self.matrix_handler.matrix):
        row_str = f"{i_index[i]+1:2} | " + " | ".join(
            f"{'∞' if x == math.inf else x:2}" for x in row
        ) + " |"
        matrix_rows.append(row_str)

    # Объединяем все строки
    matrix_str = "\n".join([header] + matrix_rows)
    node_label = f"Matrix:\n{matrix_str}\nCost: {current_cost}"
    if branching_arc:
        node_label += f"\nBranching Arc: {branching_arc}"
    node_id = str(len(self.tree_data))
    self.tree_data.append(("node", node_id, node_label))
    if parent_node is not None:
        self.tree_data.append(("edge", parent_node, node_id, f"Cost:
{step_cost}"))

    return node_id

def handle2x2(self, tmp_solution: dict, current_cost: int, i_index:
list[int], j_index: list[int]) -> None:
    for i in range(len(self.matrix_handler)):
        for j in range(len(self.matrix_handler)):
            if self.matrix_handler[i][j] == math.inf:
                # Вершина (i + 1) % 2 связывается с вершиной j (другая
вершина в столбце).
                tmp_solution[i_index[(i + 1) % 2] + 1] = j_index[j] + 1
                # Вершина i связывается с вершиной (j + 1) % 2 (другая
вершина в строке).
                tmp_solution[i_index[i] + 1] = j_index[(j + 1) % 2] + 1
                self.best_solution = tmp_solution
                self.min_cost = current_cost

def method_Little(self, matrix: list[list], tmp_solution: dict, cur_cost:
int, i_index: list[int],
j_index: list[int], parent_node: str = None,
branching_arc: tuple[int, int] = None) -> None:
    self.matrix_handler.matrix = matrix
    print("Матрица на текущем шаге")
    self.matrix_handler.print_matrix()
    step_cost = self.matrix_handler.reduct()
    print("Редуцированная матрица")
    self.matrix_handler.print_matrix()

    if step_cost == -1:
        return

    current_cost = cur_cost + step_cost
    node_id = self.collect_tree_data(current_cost, parent_node,
step_cost, i_index, j_index, branching_arc)

    if current_cost >= self.min_cost:
        print("Текущая стоимость пути уже не будет выгоднее чем рекорд,
конец рекурсии", self.min_cost)

```

```

        return

    if len(self.matrix_handler) == 2:
        print("Размерность матрицы = 2, конец этой ветки рекурсии")
        self.handle2x2(tmp_solution, current_cost, i_index, j_index)
        print("Найденное решение:", self.best_solution)
        return

    i, j = self.matrix_handler.find_heavy_zero()
    if i is None or j is None:
        return

    print("Начата левая ветвь:")
    new_solution = tmp_solution.copy()
    left_matrix = copy.deepcopy(matrix)
    left_i_index = i_index[:]
    left_j_index = j_index[:]
    self.matrix_handler.matrix = left_matrix
    self.matrix_handler.delete_row_column(i, j, new_solution,
left_i_index, left_j_index)
    self.method_Little(left_matrix, new_solution, current_cost,
left_i_index, left_j_index, node_id,
                        branching_arc=(i_index[i] + 1, j_index[j] + 1))

    print("Начата правая ветвь:")
    matrix[i][j] = math.inf
    self.method_Little(matrix, tmp_solution, current_cost, i_index[:],
j_index[:], node_id,
                        branching_arc=(i_index[i] + 1, j_index[j] + 1))

if __name__ == '__main__':
    start = 1
    a = [
        [math.inf, 25, 40, 31, 27],
        [5, math.inf, 17, 30, 25],
        [19, 15, math.inf, 6, 1],
        [9, 50, 24, math.inf, 6],
        [22, 8, 7, 10, math.inf]
    ]
    #a=MatrixCreator.load_matrix(a, 'matrix.txt')
    a=MatrixCreator().generate_matrix(1,10,10,20,)
    b = copy.deepcopy(a)
    little_algo = LittleAlgorithm(a)
    i_index = [i for i in range(len(a))]
    j_index = [j for j in range(len(a))]
    little_algo.method_Little(a, {}, 0, i_index, j_index)
    print("Лучший путь:", little_algo.answer(start))
    print("Минимальная стоимость:", little_algo.min_cost)
    Visualiser().visualise_solution_tree(little_algo.tree_data)
    Visualiser().visualise_graph(b, little_algo.answer(start))

```

## Название файла: MatrixHandler.py

```

import math

class MatrixHandler:
    def __init__(self, matrix:list[list])>None:
        self.matrix = matrix

```



```

def __len__(self)->int:
    return len(self.matrix)

def __getitem__(self, index:int)->None:
    if 0 <= index < len(self.matrix):
        return self.matrix[index]
    else:
        raise IndexError("Index out of range")

def print_matrix(self)->None:
    for row in self.matrix:
        print(row)

def min_except(self, lst:int, idx:int)->list:
    return min([x for i, x in enumerate(lst) if i != idx])

def reduct(self)->int:
    d = 0
    # Редукция строк
    for i, row in enumerate(self.matrix):
        min_row = min(row)
        if min_row == math.inf:
            return -1
        # вычитаем из всех элементов строки минимальный
        self.matrix[i] = [elem - min_row for elem in row]
        # добавляем к стоимости d
        d += min_row

    # Редукция столбцов
    for i in range(len(self.matrix)):
        min_column = min([row[i] for row in self.matrix])
        if min_column == math.inf:
            return -1
        for row in self.matrix:
            # вычитаем из всех элементов столбца минимальный
            row[i] -= min_column
        # добавляем к стоимости d
        d += min_column
    return d

def find_heavy_zero(self)->int:

```

```

d_max = 0
res = None
for i in range(len(self.matrix)):
    for j in range(len(self.matrix)):
        if self.matrix[i][j] == 0:
            # находим сумму минимальных элементов
            tmp = self.min_except(self.matrix[i], j) +
self.min_except([row[j] for row in self.matrix], i)
            # если найденная сумма больше рекорда, перезаписываем
            рекорд и координаты тяжелого нуля
            if tmp > d_max or not res:
                d_max = tmp
                res = (i, j)
    return res

def find_longest_path(self, solution: dict, edge: tuple)->list:
    start, end = edge
    path = []

    # Ищем путь в одну сторону (от start к end)
    current = start
    while current in solution.keys():
        path.append(solution[current])
        current = solution[current]

    # Ищем путь в другую сторону (от end к start)
    current = end
    path.insert(0, current)
    while current in solution.values():
        for key in solution.keys():
            if (solution[key]==current):
                current=key
        path.insert(0, current)

    return path

def forbid_cycles(self, path: list, i_index: list, j_index: list)-
>None:
    if len(path) < 2:
        return

```

```

# Запрещаем ребро, которое замыкает цикл
restore_i = path[-1]
restore_j = path[0]
print(f"Текущий путь содержащий удаляемое ребро: {path}")
print(f"Запрещаем ребро[{restore_i}, {restore_j}]")
if restore_i-1 in i_index and restore_j-1 in j_index:
    i_for_inf = i_index.index(restore_i-1)
    j_for_inf = j_index.index(restore_j-1)
    self.matrix[i_for_inf][j_for_inf] = math.inf # запрещаем
движение по обратному ребру

def delete_row_column(self, i:int, j:int, solution:dict, i_index:list,
j_index:list) -> None:
    restore_i = i_index[i] # находим, каким вершинам графа
соответствуют эти индексы
    restore_j = j_index[j]
    solution[restore_i + 1] = restore_j + 1 # обновляем решение

path=self.find_longest_path(solution, (restore_i+1,solution[restore_i +
1]))

self.forbid_cycles(path,i_index,j_index)

# Удаляем строку и столбец
i_index.pop(i)
j_index.pop(j)
self.matrix.pop(i) # удаляем строку
for row in self.matrix:
    row.pop(j) # удаляем столбец

```

### Название файла: Visualiser.py

```

from graphviz import Digraph
import math

class Visualiser:
    def visualise_graph(self,adj_matrix, highlight_nodes=None):
        if highlight_nodes is None:
            highlight_nodes = []

        highlight_edges = []
        for i in range(len(highlight_nodes) - 1):
            highlight_edges.append((highlight_nodes[i], highlight_nodes[i +
1]))
        highlight_edges.append((highlight_nodes[-1],highlight_nodes[0]))

        dot = Digraph()

```

```

dot.attr(size="15,15",bgcolor="lightblue")
dot.attr()

# Добавление вершин
for i in range(len(adj_matrix)):
    dot.node(str(i + 1), str(i + 1), style="filled", fillcolor="green")

# Добавление рёбер
for i in range(len(adj_matrix)):
    for j in range(len(adj_matrix[i])):
        if adj_matrix[i][j] != math.inf:
            if (i + 1, j + 1) in highlight_edges:
                dot.edge(str(i + 1), str(j + 1),
label=str(adj_matrix[i][j]), color="red", penwidth="2.0")
            else:
                dot.edge(str(i + 1), str(j + 1),
label=str(adj_matrix[i][j]))

dot.render('images/salesman_way', format='png', cleanup=True)

def visualise_solution_tree(self, tree_data):
    graph = Digraph()
    graph.attr(size="50,50", bgcolor="lightblue")
    for item in tree_data:
        if item[0] == "node":
            _, node_id, label = item
            graph.node(node_id,
label, style="filled", fillcolor="lightgreen")
        elif item[0] == "edge":
            _, from_node, to_node, label = item
            graph.edge(from_node, to_node, label)
    graph.render('images/Little_tree', format='png', cleanup=True)

```

## Название файла: MatrixCreator.py

```

import math
import random

class MatrixCreator:
    def load_matrix(self, filename: str):
        f = open(filename)
        matrix = []
        for line in f:
            tmp = line.split(' ')
            res = []
            for x in tmp:
                try:
                    res.append(int(x))
                except ValueError:
                    res.append(math.inf)
            matrix.append(res)
        f.close()
        return matrix

    def generate_matrix(self, sym: bool, size: int, min_val: int, max_val: int):
        matrix = [[0 for j in range(size)] for i in range(size)]
        if sym:
            for i in range(size):
                for j in range(i, size):
                    a = random.randint(min_val, max_val)

```

```

        matrix[i][j] = a
        matrix[j][i] = a
        if i == j:
            matrix[i][j] = math.inf
    else:
        for i in range(size):
            for j in range(size):
                a = random.randint(min_val, max_val)
                matrix[i][j] = a
                if i == j:
                    matrix[i][j] = math.inf
    return matrix

def generate_euclidean_matrix(self, size: int, dimensions: int = 2, min_val:
int = 0, max_val: int = 10):
    # Генерация случайных точек в n-мерном пространстве
    points = [[random.randint(min_val, max_val) for _ in range(dimensions)]
for _ in range(size)]

    # Создание матрицы расстояний
    matrix = [[0 for _ in range(size)] for _ in range(size)]

    for i in range(size):
        for j in range(size):
            if i == j:
                matrix[i][j] = math.inf
            else:
                # Вычисление евклидова расстояния между точками i и j
                distance = math.sqrt(sum((points[i][k] - points[j][k]) ** 2
for k in range(dimensions)))
                matrix[i][j] = int(distance)
                matrix[j][i] = int(distance) # Матрица симметрична

    return matrix

def save_matrix(self, matrix: list[list], filename: str):
    f = open(filename, 'w')
    for elem in matrix:
        string = ' '.join([str(x) for x in elem])
        f.write(string + '\n')
    f.close()

if __name__ == '__main__':
    #matrix=MatrixCreator().generate_matrix(False, 5, 2, 11)
    #MatrixCreator().save_matrix(matrix, "matr.txt")
    matrix=MatrixCreator().load_matrix("matr.txt")
    print(matrix)

```

## Название файла: main.py

```

import copy

from MatrixCreator import MatrixCreator
from LittleAlgorithm import LittleAlgorithm
from ADO_MOD_algorithm import ADO_MOD_algorithm
from Visualiser import Visualiser

class Menu:

```

```

def __init__(self):
    self.matrix_creator = MatrixCreator()
    self.src_matrix=None
    self.matrix = None

def display_menu(self):
    print("1. Создать матрицу")
    print("2. Загрузить матрицу")
    print("3. Сохранить матрицу")
    print("4. Выбрать алгоритм (ADO_MOD или Литтла)")
    print("5. Выход")

def create_matrix(self):
    sym = input("Симметричная матрица? (y/n): ").lower() == 'y'
    size = int(input("Введите размер матрицы: "))
    min_val = int(input("Введите минимальное значение: "))
    max_val = int(input("Введите максимальное значение: "))
    self.src_matrix = self.matrix_creator.generate_matrix(sym, size,
min_val, max_val)
    print("Матрица создана:")
    self.print_matrix()

def load_matrix(self):
    filename = input("Введите имя файла для загрузки: ")
    self.src_matrix = self.matrix_creator.load_matrix(filename)
    print("Матрица загружена:")
    self.print_matrix()

def save_matrix(self):
    if self.src_matrix is None:
        print("Матрица не создана или не загружена.")
        return
    filename = input("Введите имя файла для сохранения: ")
    self.matrix_creator.save_matrix( self.src_matrix, filename)
    print(f"Матрица сохранена в файл {filename}.")

def choose_algorithm(self):
    if self.src_matrix is None:
        print("Матрица не создана или не загружена.")
        return
    print("1. Алгоритм ADO_MOD")

```

```

print("2. Алгоритм Литтла")
self.matrix=copy.deepcopy(self.src_matrix)
choice = input("Выберите алгоритм: ")
if choice == '1':
    start = int(input("Введите начальную вершину: "))
    solution = ADO_MOD_algorithm(self.matrix).find_res(start)
    Visualiser().visualise_graph(self.src_matrix, solution)
elif choice == '2':
    start = int(input("Введите начальную вершину: "))
    little_algo = LittleAlgorithm(self.matrix)
    i_index = [i for i in range(len(self.matrix))]
    j_index = [j for j in range(len(self.matrix))]
    little_algo.method_Little(self.matrix, {}, 0, i_index,
j_index)
    print("Лучший путь:", little_algo.answer(start))
    print("Минимальная стоимость:", little_algo.min_cost)
    Visualiser().visualise_solution_tree(little_algo.tree_data)
    Visualiser().visualise_graph(self.src_matrix,
little_algo.answer(start))
else:
    print("Неверный выбор.")

def print_matrix(self):
    for row in self.src_matrix:
        print(row)

def run(self):
    end=False
    while not end:
        self.display_menu()
        choice = input("Выберите действие: ")
        if choice == '1':
            self.create_matrix()
        elif choice == '2':
            self.load_matrix()
        elif choice == '3':
            self.save_matrix()
        elif choice == '4':
            self.choose_algorithm()
        elif choice == '5':
            print("Выход из программы.")

```

```

        end=True
    else:
        print("Неверный выбор. Пожалуйста, выберите снова.")

if __name__ == '__main__':
    menu=Menu()
    menu.run()

```

## Название файла: benchmarking.py

```

import time
import matplotlib.pyplot as plt
from MatrixCreator import MatrixCreator
from ADO_MOD_algorithm import ADO_MOD_algorithm
from LittleAlgorithm import LittleAlgorithm

import matplotlib
matplotlib.use('TkAgg')

def test_algorithm(matrix_sizes, num_tests_per_size):
    results = {}

    for size in matrix_sizes:
        times = []
        for _ in range(num_tests_per_size):
            matrix = MatrixCreator().generate_matrix(0, size, 10, 20)
            little_algo = LittleAlgorithm(matrix)
            i_index = [i for i in range(size)]
            j_index = [j for j in range(size)]

            start_time = time.time()
            #ADO_MOD_algorithm(matrix).find_res(1)
            #little_algo.method_Little(matrix, {}, 0, i_index, j_index)
            end_time = time.time()

            times.append(end_time - start_time)

        avg_time = sum(times) / num_tests_per_size
        results[size] = avg_time
        print(f"Size: {size}, Average Time: {avg_time:.4f} seconds")

    return results

def plot_results(results):
    sizes = list(results.keys())
    times = list(results.values())

    plt.figure(figsize=(12, 6))

    # График времени выполнения алгоритма
    plt.plot(sizes, times, marker='o', linestyle='-', color='b', label='Время
    выполнения алгоритма')

    plt.title('Зависимость времени выполнения от размера матрицы')
    plt.xlabel('Размер матрицы')

```



```
plt.ylabel('Время выполнения (секунды)')
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()

if __name__ == '__main__':
    matrix_sizes = range(2, 20) # Размеры матриц от 2 до 19
    num_tests_per_size = 50 # Количество тестов для каждого размера матрицы

    results = test_algorithm(matrix_sizes, num_tests_per_size)
    plot_results(results)
```