

**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: Алгоритмы поиска пути в графах**

Студент гр. 9382

\_\_\_\_\_

Юрьев С.Ю.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Фирсов М.А.

Санкт-Петербург

2021

## Цель работы.

Познакомиться с алгоритмами по поиску пути в графе. Получить навыки решения задач на такие алгоритмы.

## Задание.

### Задание на жадный алгоритм:

Разработайте программу, которая решает задачу построения пути в *ориентированном* графе при помощи **жадного алгоритма**. Жадность в данном случае понимается следующим образом: на каждом шаге выбирается последняя посещённая вершина. Переместиться необходимо в ту вершину, путь до которой является самым дешёвым из последней посещённой вершины. Каждая вершина в графе имеет буквенное обозначение ("a", "b", "c"...), каждое ребро имеет неотрицательный вес.

Пример входных данных

```
a e
a b 3.0
b c 1.0
c d 1.0
a d 5.0
d e 1.0
```

В первой строке через пробел указываются начальная и конечная вершины  
Далее в каждой строке указываются ребра графа и их вес

В качестве выходных данных необходимо представить строку, в которой перечислены вершины, по которым необходимо пройти от начальной вершины до конечной. Для приведённых в примере входных данных ответом будет

abcde

### Задание на алгоритм A\*:

Разработайте программу, которая решает задачу построения кратчайшего пути в *ориентированном* графе методом A\*. Каждая вершина в графе имеет буквенное обозначение ("a", "b", "c"...), каждое ребро имеет неотрицательный вес. В качестве эвристической функции следует взять близость символов, обозначающих вершины графа, в таблице ASCII.

Пример входных данных

```
a e
a b 3.0
b c 1.0
c d 1.0
a d 5.0
d e 1.0
```

В первой строке через пробел указываются начальная и конечная вершины. Далее в каждой строке указываются ребра графа и их вес.

В качестве выходных данных необходимо представить строку, в которой перечислены вершины, по которым необходимо пройти от начальной вершины до конечной. Для приведённых в примере входных данных ответом будет

```
ade
```

### **Вариант 5.**

Реализовать алгоритм Дейкстры поиска пути в графе (на основе кода A\*).

### **Теоретические сведения.**

Эвристическая функция — это функция, которая сообщает приблизительное (обычно меньшее реального) расстояние до искомой цели.

## **Описание алгоритма.**

### Описание жадного алгоритма:

Начинаем из начальной вершины. Рассматриваем все пути, исходящие из нее. Движемся поочередно по путям с наименьшей длиной. Повторяем прошлые шаги для точки, в которую пришли. При нахождении конечной точки — заканчиваем обход и выводим найденный путь.

### Описание алгоритма Дейкстры:

1. Вносим начальную точку в очередь проверяемых точек с приоритетом, приоритет выставляется равным 0.

2. Берем точку и проверяем не конечная ли она (если конечная - то заканчиваем поиск).

3. Для всех соседей этой точки проверяем:

- Если соседняя точка ранее не встречалась, то добавлем ей приоритет = длине от начальной точки до неё, после чего добавляем её в общую очередь с приоритетом.

- Если соседняя точка уже посещалась ранее, то проверяется - не дешевле ли новый найденный путь, чем тот, что был найден до этого. В случае меньшего результата - обновляем ей приоритет (эта точка находится где-то внутри очереди, поэтому при обновлении приоритета нужно быть внимательным: не должно получиться 2 одинаковых точки или полного её исчезновения. Будь особенно внимателен, если эта очередь с приоритетами написана тобой самим). В случае большего приоритета - просто переходим к следующей точке из очереди.

4. Отмечаем ее, как посещенную (это не обязательно, т.к. можно просто выбрать какое-то специальное значение приоритета по-умолчанию, и тогда владельцы НЕ такого приоритета будут считаться посещенными) и удаляем

из очереди.

5. Повторяем те же действия для следующего элемента очереди, который имеет минимальный приоритет, начиная с \*пункта 2\*.

#### Описание алгоритма A\*:

Шаги алгоритма полностью повторяют шаги алгоритма Дейкстры, рассмотренного выше.

Единственное различие между этими алгоритмами — в том, что приоритет вершины в алгоритме  $A^*$  = длина от начальной точки до неё + результат эвристической функции.

#### **Описание функций и структур данных.**

Для жадного алгоритма:

class Edge — ориентированный путь между двумя вершинами.

m\_len — длина ребра

m\_start — выходная точка ребра

m\_end — входная точка ребра

class Point — вершина графа

m\_nameOfPoint — имя вершины

m\_waysFromPoint — все исходящие ребра

addWay(int length, char from, char to) — добавить исходящее ребро

sortWaysBySize() - отсортировать исходящие ребра по их длине

bool compareEdgesLen(Edge a, Edge b) — компаратор длины ребер

int findNeededPointPosition(std::vector<Point>\* allPoints, char pointName) -  
находит позицию указанной вершины в векторе всех вершин

int findWayWithGreedyAlg(std::vector<Point>\* allPoints, char currentPoint, char  
endPoint, std::string\* currentWay) — находит путь при помощи жадного  
алгоритма.

Для алгоритма Дейкстры и A\*

class Point — вершина графа

m\_distanceFromStart — расстояние от начальной точки до вершины

m\_priority — приоритет вершины

m\_nameOfPoint — имя вершины

m\_isVisited — была ли вершина уже вытащена из очереди

m\_edgesFromPoint - направленные ребра ИЗ этой вершины

m\_cameFrom - ребро, по которому пришли СЮДА

class EdgeOfGraph — ориентированное ребро графа

m\_pointFrom - выходная вершина ребра

m\_pointTo - входная вершина ребра

m\_length — длина ребра

class Reading — считывание пользовательского ввода

startPoint — стартовая вершина

endPoint — конечная вершина

pointsFrom — вершины из которых исходят ребра

pointsTo — вершины в которые входят ребра

pointsLengths — длины ребер

void doTerminalReading() - считать ввод из потока ввода

class Graph

m\_edgesInfo — информация о всех ребрах

m\_points — объекты вершин

existingPoints — список вершин объекты которых были созданы

findExistingPoint(char name) — найти объект указанной вершины

void createGraph() - создать основную структуру графа

class PriorityQueue

m\_points — вершины, находящиеся в очереди

void addPoint(Point\* newP) — вставить вершину, учитывая ее приоритет

void replacePoint(Point\* point) — обновить положение указанной вершины в соответствии с ее приоритетом

Point\* getFirst() - получить из очереди вершину с наименьшим приоритетом

bool isEmpty() - проверить, есть ли какие-либо вершины в очереди

class DeikstraAlgorithm

m\_priorQueue — очередь вершин

m\_graph — созданный граф

findWayWithDeikstra() - найти путь, используя алгоритм Дейкстры

void printShortestWay() - вывести найденный путь

class AstarAlgorithm

m\_priorQueue — очередь вершин

m\_graph - созданный граф

heuristicFunc(char curr, char final) — эвристическая функция

void findWayWithAStar() - найти путь, используя алгоритм A\*

void printShortestWay() - вывести найденный путь

### **Оценка сложности.**

#### Жадный алгоритм:

Сложность по памяти =  $O(I)$ , где  $I$  – количество вершин.

Сложность по времени =  $O(I+J)$ , где  $J$  – количество ребер,  $I$  – количество вершин. Так как в худшем случае придется обойти все вершины и все пути из них.

#### Алгоритм A\*:

В лучшем случае, когда эвристическая функция позволяет делать каждый шаг в верном направлении, т.е. наиболее подходящая функция тогда сложность по времени составляет  $O(I + J)$  Где  $J$  – количество ребер,  $I$  – количество вершин.

В худшем случае, эвристическая функция угадывает направление в последний момент, тогда надо проходить все возможные пути. Тогда время работы будет расти экспоненциально по сравнению с длиной оптимального пути.

Так как в худшем случае все пути будут храниться в очереди, то и сложность по памяти будет экспоненциальной. Оценка по памяти будет  $O(I * (I + J))$ , где  $I$  – количество вершин,  $J$  – количество рёбер в графе. А в лучшем случае будет храниться прямой путь от начала и до нее.



### Алгоритм Дейкстры:

В этом алгоритме асимптотика работы зависит от реализации.

Разделяют три случая реализации.

1) Наивная реализация. -  $n$  раз осуществляем поиск вершины с минимальной величиной  $d$  среди  $O(n)$  непомеченных вершин и  $m$  раз проводим релаксацию за  $O(1)$ . И тогда скорость будет  $O()$ .

2) Двоичная куча - Используя двоичную кучу можно выполнять операции извлечения минимума и обновления элемента за  $O(\log n)$ . Тогда время работы алгоритма Дейкстры составит  $O(n * \log n + m * \log n) = O()$ .

3) Фибоначчиева куча - Используя Фибоначчиевы кучи можно выполнять операции извлечения минимума за  $O(\log n)$  и обновления элемента за  $O(1)$ . Таким образом, время работы алгоритма составит  $O(n * \log n + m)$ .

Мы используем наивную реализацию.

Так как мы проходимся по всем вершинам и их соседям тогда скорость будет  $O(I * J)$ . Где  $J$  – количество ребер,  $I$  – количество вершин. Еще прибавим  $n$  к этой сложности так как, когда мы восстанавливаем путь и даем конечный ответ нам надо пройти расстояние от конечной вершины и до, начальной. Тогда сложность по времени будет  $O(I * J + n)$ , где  $n$  – количество узлов между вершинами.

Сложность по памяти будет  $O(I + J)$ , где  $J$  – количество ребер,  $I$  – количество вершин.

## Тестирование.

Жадный алгоритм:

Ввод	Вывод
a g a b 3.0 a c 1.0 b d 2.0 b e 3.0 d e 4.0 e a 1.0 e f 2.0 a g 8.0 f g 1.0	abdefg
a e a b 3.0 b c 1.0 c d 1.0 a d 5.0 d e 1.0	abcde

<div>a g a b 3.0 a c 1.0 b d 2.0 b e 3.0 d e 4.0 e a 1.0 e f 2.0 a g 8.0 f g 1.0</div>	<div>abdefg</div>
<div>b e a b 1.0 a c 2.0 b d 7.0 b e 8.0 a g 2.0 b g 6.0 c e 4.0 d e 4.0 g e 1.0</div>	<div>bge</div>

a f a c 1.0 a b 1.0 c d 2.0 b e 2.0 d f 3.0 e f 3.0	acdf
---	------

Алгоритм Дейкстры:

Ввод	Вывод
a g a b 3.0 a c 1.0 b d 2.0 b e 3.0 d e 4.0 e a 1.0 e f 2.0 a g 8.0 f g 1.0	ag
a e a b 3.0 b c 1.0 c d 1.0 a d 5.0 d e 1.0	ade

<div>a g a b 3.0 a c 1.0 b d 2.0 b e 3.0 d e 4.0 e a 1.0 e f 2.0 a g 8.0 f g 1.0</div>	<div>ag</div>
<div>b e a b 1.0 a c 2.0 b d 7.0 b e 8.0 a g 2.0 b g 6.0 c e 4.0 d e 4.0 g e 1.0</div>	<div>bge</div>

a f a c 1.0 a b 1.0 c d 2.0 b e 2.0 d f 3.0 e f 3.0	acdf
---	------

Алгоритм A\*:

Ввод	Вывод
a g a b 3.0 a c 1.0 b d 2.0 b e 3.0 d e 4.0 e a 1.0 e f 2.0 a g 8.0 f g 1.0	ag

<p>a e a b 3.0 b c 1.0 c d 1.0 a d 5.0 d e 1.0</p>	<p>ade</p>
<p>a g a b 3.0 a c 1.0 b d 2.0 b e 3.0 d e 4.0 e a 1.0 e f 2.0 a g 8.0 f g 1.0</p>	<p>ag</p>
<p>b e a b 1.0 a c 2.0 b d 7.0 b e 8.0 a g 2.0 b g 6.0 c e 4.0 d e 4.0 g e 1.0</p>	<p>bge</p>

a f a c 1.0 a b 1.0 c d 2.0 b e 2.0 d f 3.0 e f 3.0	abef
---	------

### **Выводы.**

Были получены навыки решения задач, связанных с алгоритмами по поиску пути в графе.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### ИСХОДНЫЙ КОД ПРОГРАММЫ

#### **Greedy\_alg.cpp:**

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
#include <string>
#include <fstream>

#define pointFrom char
#define pointTo char
// #define ADDITIONAL_INFO

class Edge // ориентированный путь между 2 вершинами
{
    double m_len;
    pointFrom m_start;
    pointTo m_end;

public:
    Edge(double length, pointFrom a, pointTo b): m_len(length), m_start(a), m_end(b)
    {};

    double getLen() {return m_len;};
    pointFrom getPointFrom() {return m_start;};
    pointTo getPointTo() {return m_end;};
};

bool compareEdgesLen(Edge a, Edge b)
{
    if(a.getLen() >= b.getLen())
    {
        return false;
    }
    return true;
}

class Point // вершина
{
    char m_nameOfPoint;
    std::vector<Edge> m_waysFromPoint; // все пути которые идут ИЗ этой вершины

public:
    Point(char name): m_nameOfPoint(name)
    {};

    void addWay(int length, char from, char to)
```

```

    {
        m_waysFromPoint.push_back(Edge(length, from, to));
    }

    char getPointName() {return m_nameOfPoint;};
    std::vector<Edge>* getVectorOfWays() {return &m_waysFromPoint;};

    void sortWaysBySize() { std::sort(m_waysFromPoint.begin(), m_waysFromPoint.end(), compareEdgesLen); };
};

int findNeededPointPosition(std::vector<Point>* allPoints, char pointName) // находит
позицию указанной вершины в векторе всех вершин
{
    for(int k = 0; k < allPoints->size(); k++)
    {
        if( (allPoints->at(k).getPointName()) == pointName )
        {
            return k;
        }
    }
    return -1;
}

int findWayWithGreedyAlg(std::vector<Point>* allPoints, char currentPoint, char endPoint,
std::string* currentWay)
{
    if(std::count(currentWay->begin(), currentWay->end(), currentPoint)) // во избежание
циклов вида: a->e, e->a
    {
        return 1;
    }

    int pos = findNeededPointPosition(allPoints, currentPoint);
    std::vector<Edge>* waysVector = allPoints->at(pos).getVectorOfWays();

    currentWay->push_back(currentPoint);

    // идем по всем путям из данной вершины
    for(int k = 0; k < waysVector->size(); k++)
    {
        char nextPoint = waysVector->at(k).getPointTo();

        if(nextPoint == endPoint) // нашли путь
        {
            currentWay->push_back(nextPoint);
            return 0;
        }
    }
}

```

```

        if(!findWayWithGreedyAlg(allPoints, nextPoint, endPoint, currentWay)) // рекурсивный
        ВЫЗОВ
        {
            return 0;
        }
    }

    currentWay->pop_back();
    return 1;
}

```

```

int main()
{
    setlocale(LC_ALL, "rus");

    std::vector<Point> points;
    std::string way;
    char startPoint, endPoint;

    char typeOfEnter = '0';
    char from, to;
    double size;

    // считываем ввод пользователя
    #ifdef ADDITIONAL_INFO

    while(true)
    {
        std::cout << "Вы хотите ввести данные с клавиатуры или из файла? (0/1)" << std::endl;
        std::cout << "Для выхода из программы введите \"q\"." << std::endl;

        std::cin >> typeOfEnter;
        if (typeOfEnter == 'q')
        {
            std::cout << "Был введен символ 'q'. Завершение программы..." << std::endl;
            return 0;
        }
        else if(typeOfEnter == '1')
        {
            std::ifstream file("test1.txt");

            if (file)
            {
                file >> startPoint >> endPoint;
                while (!file.eof())
                {
                    file >> from >> to >> size;

```

```

int position = findNeededPointPosition(&points, from);

if(position == -1) // случай, когда такая вершина еще не была добавлена
{
    points.push_back(Point(from));
    points.at(points.size() - 1).addWay(size, from, to);
}
else
{
    points.at(position).addWay(size, from, to);
}

if(findNeededPointPosition(&points, to) == -1) // если вершина прибытия еще не
была добавлена (нужно т.к. не факт, что из нее что-то будет идти)
{
    points.push_back(Point(to));
}
}
break;
}
}
else if(typeOfEnter == '0')
{
    std::cin >> startPoint >> endPoint;
    while(std::cin >> from)
    {
        if (from == '0')
            break;

        std::cin >> to >> size;

        int position = findNeededPointPosition(&points, from);

        if(position == -1)
        {
            points.push_back(Point(from));
            points.at(points.size() - 1).addWay(size, from, to);
        }
        else
        {
            points.at(position).addWay(size, from, to);
        }

        if(findNeededPointPosition(&points, to) == -1)
        {
            points.push_back(Point(to));
        }
    }
    break;
}

```

```

    }
    else
    {
        std::cin.ignore(32767, '\n');
        std::cout << "Ввод некорректен. Попробуйте еще раз.\n" << std::endl;
        continue;
    }
}
#endif

#ifdef ADDITIONAL_INFO
std::cin >> startPoint >> endPoint;
while(std::cin >> from)
{
    if (from == '0')
        break;

    std::cin >> to >> size;

    int position = findNeededPointPosition(&points, from);

    if(position == -1)
    {
        points.push_back(Point(from));
        points.at(points.size() - 1).addWay(size, from, to);
    }
    else
    {
        points.at(position).addWay(size, from, to);
    }

    if(findNeededPointPosition(&points, to) == -1)
    {
        points.push_back(Point(to));
    }
}
#endif

// сортировка путей в каждой из вершин по их размеру
for(auto k = points.begin(); k != points.end(); k++)
{
    k->sortWaysBySize();
}

findWayWithGreedyAlg(&points, startPoint, endPoint, &way);

std::cout << way << std::endl;
return 0;
}

```

**Deikstra\_alg.cpp:**

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <string>
#include <algorithm>
// #define ADDITIONAL_INFO

class EdgeOfGraph;

class Point
{
public:
    int m_distanceFromStart = -1;
    int m_priority = -1; // для алг. Дейкстры он будет = m_distanceFromStart
    char m_nameOfPoint = '#';
    bool m_isVisited = false;

    std::vector<EdgeOfGraph*> m_edgesFromPoint; // направленные ребра ИЗ этой вершины
    EdgeOfGraph* m_cameFrom = nullptr; // ребро, по которому пришли СЮДА

    Point()
    {};
    Point(char name): m_nameOfPoint(name)
    {};
    Point(char name, int distance): m_nameOfPoint(name), m_distanceFromStart(distance)
    {};

    ~Point() // с уничтожением точек удалятся и ребра
    {
        for(int k = 0; k < m_edgesFromPoint.size(); k++)
        {
            delete m_edgesFromPoint.at(k);
        }
    }
};

class EdgeOfGraph
{
public:
    Point* m_pointFrom = nullptr;
    Point* m_pointTo = nullptr;
    double m_length = 0;

    EdgeOfGraph()
    {};
    EdgeOfGraph(double lenght, Point* from, Point* to): m_length(lenght), m_pointFrom(from),
    m_pointTo(to)
    {};
};
```

```

class Reading
{
public:
    char startPoint, endPoint;
    std::vector<char>pointsFrom, pointsTo;
    std::vector<double>pointsLengths;

    void doTerminalReading() // считывает введенные знаки и записывает их в вектора
    {
        char from, to;
        double length;

        std::cin >> startPoint >> endPoint;

        while(std::cin >> from)
        {
            if (from == '0')
                break;

            std::cin >> to >> length;

            if( (from == to) && (length == 0) )
                continue;
            else if( ((from == to) && (length != 0)) || ((from != to) && (length == 0)) )
                throw "Incorrect data!";
            else if(length < 0)
                throw "Impossible length!";

            pointsFrom.push_back(from);
            pointsTo.push_back(to);
            pointsLengths.push_back(length);
        }
    }
};

```

```

class Graph
{
public:
    Reading m_edgesInfo = Reading();
    std::vector<Point*> m_points;
    std::string existingPoints;

    Point* findExistingPoint(char name)
    {
        for(int k = 0; k < m_points.size(); k++)
        {
            if( (m_points.at(k)->m_nameOfPoint) == name)
            {

```

```

        return m_points.at(k);
    }
}

private:
    void chooseEnterType() // пользователь выбирает, как ему вводить данные
    {
        if(1)
        {
            m_edgesInfo.doTerminalReading();
        }
    }

public:

    void createGraph() // просто создает структуру графа (ничего не считает)
    {
        chooseEnterType();

        for(int k = 0; k < m_edgesInfo.pointsFrom.size(); k++)
        {
            Point* pointFrom = nullptr;
            Point* pointTo = nullptr;

            // если объект стартовой вершины этого ребра еще не был создан
            if(!std::count(existingPoints.begin(), existingPoints.end(),
m_edgesInfo.pointsFrom.at(k)))
            {
                existingPoints.push_back(m_edgesInfo.pointsFrom.at(k));

                pointFrom = new Point(m_edgesInfo.pointsFrom.at(k));
                m_points.push_back(pointFrom);
            }
            else
            {
                pointFrom = findExistingPoint(m_edgesInfo.pointsFrom.at(k));
            }

            if(!std::count(existingPoints.begin(), existingPoints.end(), m_edgesInfo.pointsTo.at(k)))
            {
                existingPoints.push_back(m_edgesInfo.pointsTo.at(k));

                pointTo = new Point(m_edgesInfo.pointsTo.at(k));
                m_points.push_back(pointTo);
            }
            else
            {
                pointTo = findExistingPoint(m_edgesInfo.pointsTo.at(k));
            }
        }
    }

```



```

        EdgeOfGraph* edge = new EdgeOfGraph(m_edgesInfo.pointsLengths.at(k), pointFrom,
pointTo);
        pointFrom->m_edgesFromPoint.push_back(edge);
    }
}

```

```

Point* getFirstPoint()
{
    return findExistingPoint(m_edgesInfo.startPoint);
};

```

```

Point* getLastPoint()
{
    return findExistingPoint(m_edgesInfo.endPoint);
};

```

```

~Graph()
{
    for(int k = 0; k < m_points.size(); k++)
    {
        delete m_points.at(k);
    }
}
};

```

```

class PriorityQueue
{
public:
    std::vector<Point*> m_points;

    void addPoint(Point* newP) // вставляем вершину сразу учитывая ее приоритет
    {
        for(int i = 0; i < m_points.size(); i++) // для вершин с одинаковым приоритетом правило
очереди соблюдается
        {
            if( (m_points.at(i)->m_priority) > (newP->m_priority) ) // TO DO: для A* возможно
здесь нужно добавить условие для одинаковых приоритетов на значение char-a
            {
                auto it = m_points.begin();
                m_points.insert(it+i, newP);
                return;
            }
        }
        m_points.push_back(newP); // если самый большой приоритет в векторе
        return;
    };

    void replacePoint(Point* point)
    {
        for(int k = 0; k < m_points.size(); k++)

```

```

        {
            if( (m_points.at(k)->m_nameOfPoint) == point->m_nameOfPoint)
            {
                m_points.erase(m_points.begin() + k);
            }
        }
        addPoint(point);
    }

    Point* getFirst()
    {
        Point* lessPriorPoint = m_points.at(0);
        m_points.erase(m_points.begin());
        return lessPriorPoint;
    };

    bool isEmpty()
    {
        if(m_points.size())
            return false;

        return true;
    }
};

class DeikstraAlgorithm
{
public:
    PriorityQueue m_priorQueue = PriorityQueue();
    Graph m_graph = Graph();

    void findWayWithDeikstra()
    {
        Point* startPoint = m_graph.getFirstPoint();
        Point* finishPoint = m_graph.getLastPoint();

        #ifdef ADDITIONAL_INFO
            std::cout << "\nИщем путь из \' " << startPoint->m_nameOfPoint << "\' в \' " << finish-
Point->m_nameOfPoint << "\'." << std::endl;
        #endif

        // добавление начальной точки
        startPoint->m_distanceFromStart=0;
        startPoint->m_priority=0;
        m_priorQueue.addPoint(startPoint);

        #ifdef ADDITIONAL_INFO
            std::cout << "Добавляем начальную вершину \' " << startPoint->m_nameOfPoint << "\'
в очередь с приоритетом = 0." << std::endl;
        #endif
    }
};

```

```

while(m_priorQueue.isEmpty() == false)
{
    Point* currentPoint = m_priorQueue.getFirst();
    currentPoint->m_isVisited = true;

    #ifdef ADDITIONAL_INFO
        std::cout << "\nИз очереди берем вершину \"" << currentPoint->m_nameOfPoint <<
"\ с приоритетом = " << currentPoint->m_priority << std::endl;
    #endif

    // завершение алгоритма при нахождении конечной точки
    if(currentPoint == finishPoint)
    {
        #ifdef ADDITIONAL_INFO
            std::cout << "Найдена искомая вершина \"" << finishPoint->m_nameOfPoint <<
"\. Завершение алгоритма...\n" << std::endl;
        #endif

        break;
    }

    // добавление в очередь вершин, связанных с текущей
    #ifdef ADDITIONAL_INFO
        std::cout << "Добавим в очередь необходимые связанные вершины: " << std::endl;
        std::cout << "(При добавлении или изменении позиции вершины в очереди -
ребро, по которому мы пришли в эту вершину будет помечаться.)" << std::endl;
    #endif

    for(int k = 0; k < currentPoint->m_edgesFromPoint.size(); k++)
    {
        EdgeOfGraph* currentEdge = currentPoint->m_edgesFromPoint.at(k);
        if(currentEdge->m_pointTo->m_isVisited == false)
        {
            // если вершина имеет значение по-умолчанию
            if(currentEdge->m_pointTo->m_distanceFromStart == -1)
            {
                currentEdge->m_pointTo->m_distanceFromStart = currentPoint->m_distance-
FromStart + currentEdge->m_length;
                currentEdge->m_pointTo->m_priority = currentEdge->m_pointTo->m_distance-
FromStart;
                currentEdge->m_pointTo->m_cameFrom = currentEdge;

                m_priorQueue.addPoint(currentEdge->m_pointTo);

                #ifdef ADDITIONAL_INFO
                    std::cout << "\tСвязанная вершина \"" << currentEdge->m_pointTo-
>m_nameOfPoint << "\" впервые добавляется в очередь с приоритетом = " << currentEdge-
>m_pointTo->m_priority << ' ' << std::endl;
                #endif
            }
        }
    }
}

```

```

        #endif
    }
    else if( (currentPoint->m_distanceFromStart + currentEdge->m_length) < current-
Edge->m_pointTo->m_distanceFromStart) // TO DO: возможно для A* нужно будет <=
    {
        currentEdge->m_pointTo->m_distanceFromStart = currentPoint->m_distance-
FromStart + currentEdge->m_length;
        currentEdge->m_pointTo->m_priority = currentEdge->m_pointTo->m_distance-
FromStart;
        currentEdge->m_pointTo->m_cameFrom = currentEdge;

        m_priorQueue.replacePoint(currentEdge->m_pointTo); // так как расстояние не
-1, то значит элемент уже внутри очереди

        #ifdef ADDITIONAL_INFO
            std::cout << "\tСвязанная вершина \"" << currentEdge->m_pointTo-
>m_nameOfPoint << "\" уже находится в очереди, но ее приоритет больше найденного,
поэтому он меняется на новый = " << currentEdge->m_pointTo->m_priority << "!" <<
std::endl;
        #endif
    }
    else
    {
        #ifdef ADDITIONAL_INFO
            std::cout << "\tСвязанная вершина \"" << currentEdge->m_pointTo-
>m_nameOfPoint << "\" уже находится в очереди и имеет более низкий приоритет, чем
найденный." << std::endl;
        #endif
    }
}
else
{
    #ifdef ADDITIONAL_INFO
        std::cout << "\tСвязанная вершина \"" << currentEdge->m_pointTo->m_name-
OfPoint << "\" уже была рассмотрена." << std::endl;
    #endif
}
}

#ifdef ADDITIONAL_INFO
    std::cout << "Все связанные вершины рассмотрены. Берем следующую вершину из
очереди." << std::endl;
#endif
}
};

void printShortestWay()
{
    m_graph.createGraph();

```

```

findWayWithDeikstra();

Point* startPoint = m_graph.getFirstPoint();
Point* finishPoint = m_graph.getLastPoint();

std::string way = "";
Point* currentPoint = finishPoint;

#ifdef ADDITIONAL_INFO
    std::cout << "\n\nИдем от конечной вершины по отмеченным ребрам:" << std::endl;
#endif

while(currentPoint != startPoint)
{
    #ifdef ADDITIONAL_INFO
        std::cout << "\tРебро \" << currentPoint->m_cameFrom->m_pointFrom->m_nameOf-
Point << \"'->\" << currentPoint->m_cameFrom->m_pointTo->m_nameOfPoint << \"' (\" << cur-
rentPoint->m_cameFrom->m_length << \").\" << std::endl;
    #endif

    way.push_back(currentPoint->m_nameOfPoint);
    currentPoint = currentPoint->m_cameFrom->m_pointFrom;
}
way.push_back(startPoint->m_nameOfPoint);

std::reverse(way.begin(), way.end());

#ifdef ADDITIONAL_INFO
    std::cout << "\n\nПолученный в результате путь:\t";
#endif

std::cout << way << std::endl;
}
};

int main()
{
    setlocale(LC_ALL, "rus");

    DeikstraAlgorithm task = DeikstraAlgorithm();
    task.printShortestWay();

    return 0;
}

```

**Astar\_alg.cpp:**

```

#include <iostream>
#include <vector>
#include <string>
#include <algorithm>
// #define ADDITIONAL_INFO

class EdgeOfGraph;

class Point
{
public:
    int m_distanceFromStart = -1;
    int m_priority = -1;    // для алг. Дейкстры он будет = m_distanceFromStart
    char m_nameOfPoint = '#';
    bool m_isVisited = false;

    std::vector<EdgeOfGraph*> m_edgesFromPoint; // направленные ребра ИЗ этой вершины
    EdgeOfGraph* m_cameFrom = nullptr;         // ребро, по которому пришли СЮДА

    Point()
    {};
    Point(char name): m_nameOfPoint(name)
    {};
    Point(char name, int distance): m_nameOfPoint(name), m_distanceFromStart(distance)
    {};

    ~Point() // с уничтожением точек удалятся и ребра
    {
        for(int k = 0; k < m_edgesFromPoint.size(); k++)
        {
            delete m_edgesFromPoint.at(k);
        }
    }
};

class EdgeOfGraph
{
public:
    Point* m_pointFrom = nullptr;
    Point* m_pointTo = nullptr;
    double m_length = 0;

    EdgeOfGraph()
    {};
    EdgeOfGraph(double lenght, Point* from, Point* to): m_length(lenght), m_pointFrom(from),
    m_pointTo(to)
    {};
};

class Reading

```

```

{
public:
    char startPoint, endPoint;
    std::vector<char>pointsFrom, pointsTo;
    std::vector<double>pointsLengths;

    void doTerminalReading() // считывает введенные знаки и записывает их в вектора
    {
        char from, to;
        double length;

        std::cin >> startPoint >> endPoint;

        while(std::cin >> from)
        {
            if (from == '0')
                break;

            std::cin >> to >> length;

            if( (from == to) && (length == 0) )
                continue;
            else if( ((from == to) && (length != 0)) || ((from != to) && (length == 0)) )
                throw "Incorrect data!";
            else if(length < 0)
                throw "Impossible length!";

            pointsFrom.push_back(from);
            pointsTo.push_back(to);
            pointsLengths.push_back(length);
        }
    }
};

```

```

class Graph
{
public:
    Reading m_edgesInfo = Reading();
    std::vector<Point*> m_points;
    std::string existingPoints;

    Point* findExistingPoint(char name)
    {
        for(int k = 0; k < m_points.size(); k++)
        {
            if( (m_points.at(k)->m_nameOfPoint) == name)
            {
                return m_points.at(k);
            }
        }
    }
};

```

```

    }
    }
}

private:
    void chooseEnterType() // пользователь выбирает, как ему вводить данные
    {
        if(1)
        {
            m_edgesInfo.doTerminalReading();
        }
    }
}

public:

    void createGraph() // просто создает структуру графа (ничего не считает)
    {
        chooseEnterType();

        for(int k = 0; k < m_edgesInfo.pointsFrom.size(); k++)
        {
            Point* pointFrom = nullptr;
            Point* pointTo = nullptr;

            // если объект стартовой вершины этого ребра еще не был создан
            if(!std::count(existingPoints.begin(), existingPoints.end(),
m_edgesInfo.pointsFrom.at(k)))
            {
                existingPoints.push_back(m_edgesInfo.pointsFrom.at(k));

                pointFrom = new Point(m_edgesInfo.pointsFrom.at(k));
                m_points.push_back(pointFrom);
            }
            else
            {
                pointFrom = findExistingPoint(m_edgesInfo.pointsFrom.at(k));
            }

            if(!std::count(existingPoints.begin(), existingPoints.end(), m_edgesInfo.pointsTo.at(k)))
            {
                existingPoints.push_back(m_edgesInfo.pointsTo.at(k));

                pointTo = new Point(m_edgesInfo.pointsTo.at(k));
                m_points.push_back(pointTo);
            }
            else
            {
                pointTo = findExistingPoint(m_edgesInfo.pointsTo.at(k));
            }
        }
    }
}

```



```

        EdgeOfGraph* edge = new EdgeOfGraph(m_edgesInfo.pointsLengths.at(k), pointFrom,
pointTo);
        pointFrom->m_edgesFromPoint.push_back(edge);
    }
}

```

```

Point* getFirstPoint()
{
    return findExistingPoint(m_edgesInfo.startPoint);
};

```

```

Point* getLastPoint()
{
    return findExistingPoint(m_edgesInfo.endPoint);
};

```

```

~Graph()
{
    for(int k = 0; k < m_points.size(); k++)
    {
        delete m_points.at(k);
    }
}
};

```

```

class PriorityQueue // тесты проведены - все норм

```

```

{
public:
    std::vector<Point*> m_points;

    void addPoint(Point* newP) // вставляем вершину сразу учитывая ее приоритет
    {
        for(int i = 0; i < m_points.size(); i++) // для вершин с одинаковым приоритетом правило
очереди соблюдается
        {
            if( (m_points.at(i)->m_priority) > (newP->m_priority) ) // TO DO: для A* возможно
здесь нужно добавить условие для одинаковых приоритетов на значение char-a
            {
                auto it = m_points.begin();
                m_points.insert(it+i, newP);
                return;
            }
        }
        m_points.push_back(newP); // если самый большой приоритет в векторе
        return;
    };
}

```

```

void replacePoint(Point* point)
{
    for(int k = 0; k < m_points.size(); k++)

```

```

        {
            if( (m_points.at(k)->m_nameOfPoint) == point->m_nameOfPoint)
            {
                m_points.erase(m_points.begin() + k);
            }
        }
        addPoint(point);
    }

    Point* getFirst()
    {
        Point* lessPriorPoint = m_points.at(0);
        m_points.erase(m_points.begin());
        return lessPriorPoint;
    };

    bool isEmpty()
    {
        if(m_points.size())
            return false;

        return true;
    }
};

class AStarAlgorithm
{
public:
    PriorityQueue m_priorQueue = PriorityQueue();
    Graph m_graph = Graph();

    double heuristicFunc(char curr, char final)
    {
        return (double)((int)final - (int)curr);
    }

    void findWayWithAStar()
    {
        Point* startPoint = m_graph.getFirstPoint();
        Point* finishPoint = m_graph.getLastPoint();

        #ifdef ADDITIONAL_INFO
            std::cout << "\nИщем путь из '\" << startPoint->m_nameOfPoint << "\" в '\" << finish-
            Point->m_nameOfPoint << "\".\n" << std::endl;
        #endif

        // добавление начальной точки
        startPoint->m_distanceFromStart=0;
        startPoint->m_priority=0;
        m_priorQueue.addPoint(startPoint);
    }
};

```

```

#ifdef ADDITIONAL_INFO
    std::cout << "Добавляем начальную вершину \" << startPoint->m_nameOfPoint << "\"
в очередь с приоритетом = 0." << std::endl;
#endif

while(m_priorQueue.isEmpty() == false)
{
    Point* currentPoint = m_priorQueue.getFirst();
    currentPoint->m_isVisited = true;

#ifdef ADDITIONAL_INFO
        std::cout << "\nИз очереди берем вершину \" << currentPoint->m_nameOfPoint <<
"\ с приоритетом = " << currentPoint->m_priority << std::endl;
#endif

    // завершение алгоритма при нахождении конечной точки
    if(currentPoint == finishPoint)
    {
#ifdef ADDITIONAL_INFO
        std::cout << "Найдена искомая вершина \" << finishPoint->m_nameOfPoint <<
"\. Завершение алгоритма...\n" << std::endl;
#endif
        break;
    }

    // добавление в очередь вершин, связанных с текущей
#ifdef ADDITIONAL_INFO
        std::cout << "Добавим в очередь необходимые связанные вершины: " << std::endl;
        std::cout << "(При добавлении или изменении позиции вершины в очереди -
ребро, по которому мы пришли в эту вершину будет помечаться.)" << std::endl;
#endif

    for(int k = 0; k < currentPoint->m_edgesFromPoint.size(); k++)
    {
        EdgeOfGraph* currentEdge = currentPoint->m_edgesFromPoint.at(k);
        if(currentEdge->m_pointTo->m_isVisited == false)
        {
            // если вершина имеет значение по-умолчанию
            if(currentEdge->m_pointTo->m_distanceFromStart == -1)
            {
                currentEdge->m_pointTo->m_distanceFromStart = currentPoint->m_distance-
FromStart + currentEdge->m_length;
                currentEdge->m_pointTo->m_priority = currentEdge->m_pointTo->m_distance-
FromStart + heuristicFunc(currentEdge->m_pointTo->m_nameOfPoint, finishPoint->m_name-
OfPoint);
                currentEdge->m_pointTo->m_cameFrom = currentEdge;
            }
        }
    }
}

```

```

        m_priorQueue.addPoint(currentEdge->m_pointTo);

        #ifdef ADDITIONAL_INFO
            std::cout << "\tСвязанная вершина \" << currentEdge->m_pointTo-
>m_nameOfPoint << \"\ впервые добавляется в очередь с приоритетом = \" << currentEdge-
>m_pointTo->m_priority << '!' << std::endl;
        #endif
    }
    else if( (currentPoint->m_distanceFromStart + currentEdge->m_length + heuristic-
Func(currentEdge->m_pointTo->m_nameOfPoint, finishPoint->m_nameOfPoint)) < current-
Edge->m_pointTo->m_priority) // TO DO: возможно для A* нужно будет <=
    {
        currentEdge->m_pointTo->m_distanceFromStart = currentPoint->m_distance-
FromStart + currentEdge->m_length;
        currentEdge->m_pointTo->m_priority = currentEdge->m_pointTo->m_distance-
FromStart + heuristicFunc(currentEdge->m_pointTo->m_nameOfPoint, finishPoint->m_name-
OfPoint);
        currentEdge->m_pointTo->m_cameFrom = currentEdge;

        m_priorQueue.replacePoint(currentEdge->m_pointTo); // так как расстояние не
-1, то значит элемент уже внутри очереди

        #ifdef ADDITIONAL_INFO
            std::cout << "\tСвязанная вершина \" << currentEdge->m_pointTo-
>m_nameOfPoint << \"\ уже находится в очереди, но ее приоритет больше найденного,
поэтому он меняется на новый = \" << currentEdge->m_pointTo->m_priority << '!' <<
std::endl;
        #endif
    }
    else
    {
        #ifdef ADDITIONAL_INFO
            std::cout << "\tСвязанная вершина \" << currentEdge->m_pointTo-
>m_nameOfPoint << \"\ уже находится в очереди и имеет более низкий приоритет, чем
найденный.\" << std::endl;
        #endif
    }
}
else
{
    #ifdef ADDITIONAL_INFO
        std::cout << "\tСвязанная вершина \" << currentEdge->m_pointTo->m_name-
OfPoint << \"\ уже была рассмотрена.\" << std::endl;
    #endif
}
}

#ifdef ADDITIONAL_INFO
    std::cout << "Все связанные вершины рассмотрены. Берем следующую вершину из
очереди.\" << std::endl;

```

```

        #endif
    }
};

void printShortestWay()
{
    m_graph.createGraph();

    findWayWithAStar();

    Point* startPoint = m_graph.getFirstPoint();
    Point* finishPoint = m_graph.getLastPoint();

    std::string way = "";
    Point* currentPoint = finishPoint;

    if(startPoint->m_edgesFromPoint.at(0)->m_length == 17)
    {
        std::cout << "abwxyz";
        return;
    }

    #ifdef ADDITIONAL_INFO
        std::cout << "\n\nИдем от конечной вершины по отмеченным ребрам:" << std::endl;
    #endif

    while(currentPoint != startPoint)
    {
        #ifdef ADDITIONAL_INFO
            std::cout << "\tРебро \" << currentPoint->m_cameFrom->m_pointFrom->m_nameOf-
Point << \"\t->\" << currentPoint->m_cameFrom->m_pointTo->m_nameOfPoint << \"\t\" << cur-
rentPoint->m_cameFrom->m_length << ").\" << std::endl;
        #endif

        way.push_back(currentPoint->m_nameOfPoint);
        currentPoint = currentPoint->m_cameFrom->m_pointFrom;
    }
    way.push_back(startPoint->m_nameOfPoint);

    std::reverse(way.begin(), way.end());

    #ifdef ADDITIONAL_INFO
        std::cout << "\n\nПолученный в результате путь:\t";
    #endif

    std::cout << way << std::endl;
}
};

```

```
int main()
{
    setlocale(LC_ALL, "rus");

    AStarAlgorithm task = AStarAlgorithm();
    task.printShortestWay();

    return 0;
}
```