



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Калужский филиал
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ ИУК «Информатика и управление»

КАФЕДРА ИУК4 «Программное обеспечение ЭВМ, информационные технологии»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

«Реализация основных алгоритмов с графами»

ДИСЦИПЛИНА: «Типы и структуры данных»

Выполнил: студент гр. ИУК4-32Б


(Подпись)

(____ Зудин Д.В. ____)
(Ф.И.О.)

Проверил:


(Подпись)

(____ Пчелинцева Н.И. ____)
(Ф.И.О.)

Дата сдачи (защиты):

27.12.22

Результаты сдачи (защиты):

- Балльная оценка:

40

- Оценка:

хорошо

Калуга, 2022 г.

Цель: формирование практических навыков создания алгоритмов обработки графов.

Задачи:

1. Познакомиться со способами представления графов в памяти компьютера;
2. Изучить основные обходы графов;
3. Научиться составлять алгоритмы для нахождения кратчайших путей в графе;
4. Реализовать алгоритм согласно варианту.

Вариант №34

Формулировка задания

1. Разработать консольное приложение, написанное с помощью объектно-ориентированной технологии. Индивидуальное задание предусмотрено вариантом, который назначает преподаватель.
2. Приложение необходимо запускать для демонстрации из командной строки с указанием названий приложения и трех файлов:
 - все входные данные (например, последовательности чисел, коэффициенты многочленов и т.д.) считать из первого файла;
 - все выходные данные записать во второй файл;
 - все возникшие ошибки записать в третий файл – файл ошибок.
3. Все основные сущности приложения представить в виде отдельных классов.
4. Необходимо предусмотреть пользовательское меню, содержащее набор команд всех основных операций для работы с графом, а также команду для запуска индивидуального задания.
5. В приложении также должны быть учтены все критические ситуации, обработанные с помощью класса исключений.

Индивидуальное задание

Проверить, существует ли в данном графе гамильтонов путь.

Листинг файла ConsoleEditor.h

```
#pragma once
#include <Windows.h>

inline void setConsoleColor(int color = 7)
{
    HANDLE handle = GetStdHandle(STD_OUTPUT_HANDLE);
    SetConsoleTextAttribute(handle, color);
}
```

```

inline void setConsoleCoordinates(int x, int y)
{
    COORD position = { x, y };
    HANDLE hConsole = GetStdHandle(STD_OUTPUT_HANDLE);
    SetConsoleCursorPosition(hConsole, position);
}

inline void HideCursor()
{
    HANDLE handle = GetStdHandle(STD_OUTPUT_HANDLE);
    CONSOLE_CURSOR_INFO structCursorInfo;
    GetConsoleCursorInfo(handle, &structCursorInfo);
    structCursorInfo.bVisible = FALSE;
    SetConsoleCursorInfo(handle, &structCursorInfo);
}

inline void ShowCursor()
{
    HANDLE handle = GetStdHandle(STD_OUTPUT_HANDLE);
    CONSOLE_CURSOR_INFO structCursorInfo;
    GetConsoleCursorInfo(handle, &structCursorInfo);
    structCursorInfo.bVisible = TRUE;
    SetConsoleCursorInfo(handle, &structCursorInfo);
}

inline int getConsoleWidth()
{
    HANDLE handle = GetStdHandle(STD_OUTPUT_HANDLE);
    CONSOLE_SCREEN_BUFFER_INFO consoleInfo;
    if (GetConsoleScreenBufferInfo(handle, &consoleInfo))
    {
        return consoleInfo.srWindow.Right - consoleInfo.srWindow.Left + 1;
    }
    return 0;
}

inline int getConsoleHeight()
{
    HANDLE handle = GetStdHandle(STD_OUTPUT_HANDLE);
    CONSOLE_SCREEN_BUFFER_INFO consoleInfo;
    if (GetConsoleScreenBufferInfo(handle, &consoleInfo))
    {
        return consoleInfo.srWindow.Bottom - consoleInfo.srWindow.Top + 1;
    }
    return 0;
}

```

Листинг файла Menu.h

```

#ifndef MENU
#define MENU
#include <iostream>
#include <string>
#include <any>
#include <vector>
#include <functional>
#include <conio.h>
#include "ConsoleEditor.h"

class Menu
{

```

```

public:
    using Func = std::function<void(std::vector<std::any>)>;

    Menu(std::string label, Func function);
    Menu(std::string label, std::vector<Menu> menus);
    Menu(std::string label, Func function, std::vector<std::any> params);
    Menu(std::string label, std::vector<Menu> menus, std::vector<std::any>
params);
    Menu(const Menu& menu);

    void Run(std::vector<std::any> params);
    void PrintMenu(size_t selected = 1);
    void changeMenu(size_t old_selected, size_t new_selected);
    void setSelectedItemColor(int selectedItemColor);

private:
    enum Buttons
    {
        ARROW = 224,
        UP = 80,
        DOWN = 72,
        ESC = 27,
        ENTER = 13
    };
    int selectedItemColor = BACKGROUND_GREEN;
    std::string label{};
    std::vector<Menu> menus{};
    Func func{};
    std::vector<std::any> params{};
};
#endif

```

Листинг файла Menu.cpp

```

#include "Menu.h"

Menu::Menu(std::string label, Func func) :
    label(label), func(func)
{}

Menu::Menu(std::string label, std::vector<Menu> menus) :
    label(label), menus(menus)
{}

Menu::Menu(std::string label, Func func, std::vector<std::any> params) :
    label(label), func(func), params(params)
{}

Menu::Menu(std::string label, std::vector<Menu> menus, std::vector<std::any>
params) :
    label(label), menus(menus), params(params)
{}

Menu::Menu(const Menu& menu)
{
    label = menu.label;
    menus = menu.menus;
    func = menu.func;
    params = menu.params;
}

```

```

void Menu::setSelectedItemColor(int selectedItemColor)
{
    this->selectedItemColor = selectedItemColor;
}

void Menu::PrintMenu(size_t selected)
{
    HideCursor();
    if (!func)
    {
        std::cout << "Меню '" << label << "'\n";
    }
    for (size_t i = 0; i < menus.size(); i++)
    {
        if (i + 1 == selected)
        {
            setConsoleColor(selectedItemColor);
        }
        std::cout << i + 1 << ". " << menus[i].label;
        setConsoleColor();
        std::cout << std::endl;
    }
    if (!func)
    {
        std::cout << "Нажмите ESC для выхода из '" << label << "'\n";
    }
}

// для оптимизации отрисовки меню
void Menu::changeMenu(size_t old_selected, size_t new_selected)
{
    HideCursor();
    setConsoleCoordinates(0, old_selected);
    std::cout << old_selected << ". " << menus[old_selected - 1].label;
    setConsoleCoordinates(0, new_selected);
    setConsoleColor(selectedItemColor);
    std::cout << new_selected << ". " << menus[new_selected - 1].label;
    setConsoleColor();
}

void Menu::Run(std::vector<std::any> params)
{
    bool exit = false;
    while (!exit)
    {
        system("cls");
        PrintMenu();
        int select = 1;
        if (!func)
        {
            int key = 0;
            int old_select = 0;
            while (key != ENTER && key != ESC)
            {
                int oldWidth = getConsoleWidth();
                int oldHeight = getConsoleHeight();
                // Нажатие на стрелку вверх(вниз) генерирует два
                СОБЫТИЯ
                // с кодом ARROW=224 и с кодом UP=80 (DOWN=72)
                key = ARROW;
                while (key == ARROW)
                {
                    while (!_kbhit())

```

```

        {
            int newWidth = getConsoleWidth();
            int newHeight = getConsoleHeight();
            // Если размеры консоли изменяются,
            // то перерисовываем,
            // иначе будет цветная полоса во всю
            if (oldWidth != newWidth || oldHeight !=
                newHeight)
            {
                system("cls");
                PrintMenu(select);
                oldWidth = newWidth;
                oldHeight = newHeight;
            }
            key = _getch();
        }
        old_select = select;
        switch (key)
        {
            case UP:
                select = (select >= menus.size() ? 1 : select +
1);
                changeMenu(old_select, select);
                break;
            case DOWN:
                select = (select <= 1 ? menus.size() : select -
1);
                changeMenu(old_select, select);
                break;
            case ESC:
                select = 0;
                exit = true;
                setConsoleCoordinates(0, menus.size() + 2);
                break;
            default:
                break;
        }
    }
    if (select == 0)
    {
        exit = true;
    }
    else
    {
        menus[select - 1].Run(params);
    }
}
else
{
    func(params);
    system("pause");
    exit = true;
}
}
}

```

Листинг файла FileLogging.h

```
#ifndef FILE_LOGGING
#define FILE_LOGGING
#include <string>
#include <fstream>
#include <ctime>
#include <iostream>

class FileLogging
{
public:
    FileLogging(std::string fileName);
    void Logging(std::string message);

private:
    std::string getTime();
    std::string fileName;
};
#endif
```

Листинг файла FileLogging.cpp

```
#define _CRT_SECURE_NO_WARNINGS
#include "FileLogging.h"

FileLogging::FileLogging(std::string fileName)
{
    this->fileName = fileName;
}

void FileLogging::Logging(std::string message)
{
    std::ofstream fout(fileName, std::ios::out | std::ios::app);
    if (fout.is_open())
    {
        fout << "[" << getTime() << "]" << message << "\n";
    }
    fout.close();
}

std::string FileLogging::getTime()
{
    time_t seconds = time(nullptr);
    tm* timeinfo = localtime(&seconds);
    std::string currTime = asctime(timeinfo);
    currTime.pop_back();
    return currTime;
}
```

Листинг файла HelpFunctions.h

```
#ifndef HELP_FUNCTIONS
#define HELP_FUNCTIONS
#include <random>
#include <ctime>
#include <climits>
#include <algorithm>
#include <vector>
#include <iostream>
#include <exception>
```

```

#include <iterator>
#include <sstream>
#include "FileLogging.h"

inline int getRandom(const int _min, const int _max)
{
    return rand() % (_max - _min + 1) + _min;
}

inline double inf()
{
    return std::numeric_limits<double>::infinity();
}

inline double getMatrixMaximum(const std::vector<std::vector<double>>&
matrix)
{
    double _max = -inf();
    for (auto i : matrix)
    {
        _max = std::max(*std::max_element(i.begin(), i.end()), _max);
    }
    return _max;
}

template <typename T>
std::ostream& operator<<(std::ostream& out, const std::vector<T>& v)
{
    out << "[";
    for (size_t i = 0; i < v.size(); i++)
    {
        out << v[i] << (i == v.size() - 1 ? "" : ", ");
    }
    out << "]";
    return out;
}

// std::vector<T> -> std::string
template <typename T>
inline std::string vtos(std::vector<T>& v)
{
    std::stringstream ss;
    ss << v;
    return ss.str();
}

//std::vector<std::vector<T>> -> std::string
template <typename T>
inline std::string vvtos(std::vector<std::vector<T>>& vv)
{
    std::stringstream ss;
    for (auto v : vv)
    {
        ss << v << "\n";
    }
    return ss.str();
}

inline int InputInt(const std::string MSG, const int MIN, const int MAX)
{
    int input{};
    bool exit = false;
    while (!exit)

```



```

{
    std::cout << MSG;
    std::string strInput;
    getline(std::cin, strInput);
    try
    {
        // Проверка strInput на наличие лишних символов (не цифр)
        // и выброс исключения std::invalid_argument,
        // иначе можно ввести такие strInput, что они начинаются с
цифр
        // и заканчиваются другими символами
        for (size_t i = 0; i < strInput.length(); i++)
        {
            if (strInput[i] == '-' && i == 0)
            {
                continue;
            }
            if (strInput[i] < '0' || strInput[i] > '9')
            {
                throw std::invalid_argument("You can enter
integer numbers only.");
            }
        }
        input = std::stoi(strInput);
        exit = true;
    }
    catch (std::invalid_argument const&)
    {
        std::cout << "Можно ввести только целое число!\n";
    }
    catch (std::out_of_range const&)
    {
        std::cout << "Введенное число выходит из допустимого
диапазона!\n";
    }
    catch (...)
    {
        std::cout << "Неизвестная ошибка при вводе!\n";
    }
    if (exit && (input < MIN || input > MAX))
    {
        std::cout << "Введенное число выходит из допустимого
диапазона!\n";
        exit = false;
    }
}
return input;
}

inline int InputInt(const std::string MSG, const int MIN, const int MAX,
FileLogging* flog)
{
    int input{};
    bool exit = false;
    while (!exit)
    {
        std::cout << MSG;
        std::string strInput;
        getline(std::cin, strInput);
        try
        {
            // Проверка strInput на наличие лишних символов (не цифр)
            // и выброс исключения std::invalid_argument,

```

```

цифр
// иначе можно ввести такие strInput, что они начинаются с
// и заканчиваются другими символами
for (size_t i = 0; i < strInput.length(); i++)
{
    if (strInput[i] == '-' && i == 0)
    {
        continue;
    }
    if (strInput[i] < '0' || strInput[i] > '9')
    {
        throw std::invalid_argument("You can enter
integer numbers only.");
        if (flog)
        {
            flog->Logging("Incorrect number entry");
        }
    }
    input = std::stoi(strInput);
    exit = true;
}
catch (std::invalid_argument const&)
{
    std::cout << "Можно ввести только целое число!\n";
    if (flog)
    {
        flog->Logging("Incorrect number entry");
    }
}
catch (std::out_of_range const&)
{
    std::cout << "Введенное число выходит из допустимого
диапазона!\n";
    if (flog)
    {
        flog->Logging("The entered number out of range");
    }
}
catch (...)
{
    std::cout << "Неизвестная ошибка при вводе!\n";
    if (flog)
    {
        flog->Logging("Unknown input error");
    }
}
if (exit && (input < MIN || input > MAX))
{
    std::cout << "Введенное число выходит из допустимого
диапазона!\n";
    exit = false;
    if (flog)
    {
        flog->Logging("The entered number out of range");
    }
}
return input;
}

inline std::string concat(std::string s1, std::string s2)
{

```

```

        std::stringstream ss;
        ss << s1 << s2;
        return ss.str();
    }
#endif

```

Листинг файла Graph.h

```

#ifndef GRAPH
#define GRAPH
#include <vector>
#include <iostream>
#include <exception>
#include <stack>
#include <queue>
#include <iomanip>
#include <sstream>
#include <numeric>
#include "HelpFunctions.h"

class Graph
{
public:
    // Матрица весов
    using WeightMatrix = std::vector<std::vector<double>>>;

    Graph(const Graph& graph);
    Graph(const WeightMatrix& weightMatrix);
    Graph(const size_t n);

    WeightMatrix& getWeightMatrix();
    void ClearGraph();
    void FillRandomly(const int MIN_WEIGHT = 1, const int MAX_WEIGHT = 1);
    size_t getVertexCount() const;
    void InsertVertex();
    void DeleteVertex(const size_t i);
    // Создать дугу
    void CreateArc(const size_t i, const size_t j, const double WEIGHT = 1);
    // Создать ребро
    void CreateEdge(const size_t i, const size_t j, const double WEIGHT =
1);
    // Удалить дугу
    void DeleteArc(const size_t i, const size_t j);
    // Удалить ребро
    void DeleteEdge(const size_t i, const size_t j);
    // Вывод матрицы весов с точностью весов PRECISION
    void PrintGraph(const size_t PRECISION = 0) const;

    // Обход в глубину, начиная с вершины i (возвращает путь)
    std::vector<size_t> DepthFirstSearch(size_t i = 0) const;
    // Обход в ширину, начиная с вершины i (возвращает путь)
    std::vector<size_t> BreadthFirstSearch(size_t i = 0) const;
    // Алгоритм Дейкстры, возвращающий пару векторов: вектор кратчайших
путей (веса)
    // и вектор путей
    std::pair<std::vector<double>, std::vector<std::vector<size_t>>>
Dijkstra(const size_t STARTING_VERTEX = 0) const;
    // Возвращает вектор гамильтоновых путей графа - простых путей (т.е. без
петель),
    // проходящих через каждую вершину графа только один раз
    std::vector<std::vector<size_t>> HamiltonianPath() const;

```

```
private:
    WeightMatrix weightMatrix{};
    // Существует ли связь между вершинами i и j
    bool ExistLink(const size_t i, const size_t j) const;
};
#endif
```

Листинг файла Graph.cpp

```
#include "Graph.h"

Graph::Graph(const Graph& graph) : weightMatrix(graph.weightMatrix) {}

Graph::Graph(const WeightMatrix& weightMatrix)
{
    for (auto i : weightMatrix)
    {
        if (i.size() != weightMatrix.size())
        {
            throw std::invalid_argument("Weight matrix must be square");
        }
    }
    this->weightMatrix = weightMatrix;
}

Graph::Graph(const size_t n) : weightMatrix(WeightMatrix(n,
std::vector<double>(n, inf())))
{}

Graph::WeightMatrix& Graph::getWeightMatrix()
{
    return weightMatrix;
}

std::vector<size_t> Graph::DepthFirstSearch(size_t i) const
{
    std::vector<size_t> path;
    if (getVertexCount() == 1)
    {
        path.push_back(0);
        return path;
    }
    std::vector<bool> visited(getVertexCount());
    std::stack<size_t> currVertices;
    currVertices.push(i);
    while (!currVertices.empty())
    {
        // Берем вершину i из стека и помечаем её как пройденную
        i = currVertices.top();
        currVertices.pop();
        if (!visited[i])
        {
            path.push_back(i);
        }
        visited[i] = true;
        for (size_t j = getVertexCount() - 1; j > 0; j--)
        {
            // Если есть связь i -> j и j не посещена ранее,
            if (ExistLink(i, j) && !visited[j])
            {
                // То добавляем ее в стек текущих вершин
                currVertices.push(j);
            }
        }
    }
}
```

```

        }
    }
    return path;
}

std::vector<size_t> Graph::BreadthFirstSearch(size_t i) const
{
    std::vector<size_t> path;
    if (getVertexCount() == 1)
    {
        path.push_back(0);
        return path;
    }
    std::queue<size_t> currVertices;
    std::vector<bool> visited(getVertexCount());
    currVertices.push(i);
    path.push_back(i);
    visited[i] = true;
    while (!currVertices.empty())
    {
        i = currVertices.front();
        currVertices.pop();
        for (size_t j = 0; j < getVertexCount(); j++)
        {
            if (ExistLink(i, j) && !visited[j])
            {
                if (!visited[j])
                {
                    path.push_back(j);
                }
                visited[j] = true;
                currVertices.push(j);
            }
        }
    }
    return path;
}

size_t Graph::getVertexCount() const
{
    return weightMatrix.size();
}

void Graph::ClearGraph()
{
    Graph::WeightMatrix weightMatrix{};
    this->weightMatrix = weightMatrix;
}

void Graph::FillRandomly(const int MIN_WEIGHT, const int MAX_WEIGHT)
{
    srand(time(nullptr));
    for (auto& i : weightMatrix)
    {
        for (auto& j : i)
        {
            j = getRandom(MIN_WEIGHT, MAX_WEIGHT + 1);
            j = (j == MAX_WEIGHT + 1 ? inf() : j);
        }
    }
}

```

```

void Graph::InsertVertex()
{
    for (auto& i : weightMatrix)
    {
        i.push_back(inf());
    }
    weightMatrix.push_back(std::vector<double>(weightMatrix.size() + 1,
inf()));
}

void Graph::DeleteVertex(const size_t i)
{
    weightMatrix.erase(weightMatrix.begin() + i, weightMatrix.begin() + i +
1);
    for (auto& j : weightMatrix)
    {
        j.erase(j.begin() + i, j.begin() + i + 1);
    }
}

void Graph::CreateArc(const size_t i, const size_t j, const double WEIGHT)
{
    weightMatrix[i][j] = WEIGHT;
}

void Graph::CreateEdge(const size_t i, const size_t j, const double WEIGHT)
{
    weightMatrix[i][j] = weightMatrix[j][i] = WEIGHT;
}

void Graph::DeleteArc(const size_t i, const size_t j)
{
    weightMatrix[i][j] = inf();
}

void Graph::DeleteEdge(const size_t i, const size_t j)
{
    weightMatrix[i][j] = weightMatrix[j][i] = inf();
}

void Graph::PrintGraph(const size_t PRECISION) const
{
    const std::string INF = "inf";
    // находим максимальное число (по длине строкового представления)
    // в матрице weightMatrix
    // меняем в ней inf на -inf
    WeightMatrix newWeightMatrix = weightMatrix;
    for (auto& i : newWeightMatrix)
    {
        std::replace(i.begin(), i.end(), inf(), -inf());
    }
    double maxWeight = getMatrixMaximum(newWeightMatrix);
    std::stringstream ssMaxWeight;
    ssMaxWeight << std::fixed << std::setprecision(PRECISION) << maxWeight;
    size_t lenMaxWeight = ssMaxWeight.str().length();
    bool edgesArePositive = true; // все ребра - положительные числа
    for (auto i : weightMatrix)
    {
        for (auto j : i)
        {
            if (j < 0)
            {
                edgesArePositive = false;
            }
        }
    }
}

```

```

        break;
    }
    }
    if (!edgesArePositive)
    {
        break;
    }
}
// Вычисляем количество ячеек cellsCount под каждое число матрицы
weightMatrix,
// чтобы матрица вывелась ровно
size_t cellsCount = std::max(lenMaxWeight, INF.length()) + 2;
for (auto i : weightMatrix)
{
    for (auto j : i)
    {
        if (j == inf())
        {
            std::cout << std::setw(cellsCount) <<
(edgesArePositive ? "0" : INF);
        }
        else
        {
            std::cout << std::setw(cellsCount) << std::fixed <<
std::setprecision(PRECISION) << j;
        }
    }
    std::cout << "\n";
}

}

bool Graph::ExistLink(const size_t i, const size_t j) const
{
    return weightMatrix[i][j] != inf();
}

std::pair<std::vector<double>, std::vector<std::vector<size_t>>>
Graph::Dijkstra(const size_t STARTING_VERTEX) const
{
    // метка для вершины, по которой проходятся второй раз или для paths,
    что означает,
    // что из в эту вершину попасть нельзя
    const size_t MARK = getVertexCount() + 1;
    std::vector<double> shortestPaths(getVertexCount(), inf());
    // если paths[i] = j != MARK, то из вершины j можно попасть напрямую в
    вершину i
    // если paths[i] = j = MARK, то в вершину i нельзя попасть напрямую
    std::vector<size_t> paths(getVertexCount());
    std::vector<bool> traversed(getVertexCount()); // пройденные вершины
    size_t currVertex = STARTING_VERTEX;
    shortestPaths[currVertex] = 0;
    bool exit = false;
    while (!exit)
    {
        traversed[currVertex] = (currVertex != MARK);
        for (size_t i = 0; i < getVertexCount(); i++)
        {
            if (ExistLink(currVertex, i) && !traversed[i])
            {
                if (shortestPaths[currVertex] +
weightMatrix[currVertex][i] < shortestPaths[i])
                {
                    paths[i] = currVertex;

```

```

shortestPaths[i] = shortestPaths[currVertex] +
weightMatrix[currVertex][i];
    }
    }
    currVertex = MARK; // Помечаем вершину, чтобы отследить,
изменилась ли она
    double minPath = inf();
    for (size_t i = 0; i < getVertexCount(); i++)
    {
        if (!traversed[i])
        {
            if (shortestPaths[i] < minPath)
            {
                minPath = shortestPaths[i];
                currVertex = i;
            }
        }
    }
    exit = (std::all_of(traversed.begin(), traversed.end(), [](bool v)
{ return v; }))) || (currVertex == MARK);
    }
    std::replace_if(paths.begin(), paths.end(), [&traversed](size_t i) {
return !traversed[i]; }, MARK);
    // Получаем пути
    std::vector<std::vector<size_t>> directPaths;
    for (size_t i = 0; i < getVertexCount(); i++)
    {
        size_t v = i;
        std::vector<size_t> path{v};
        while (v != STARTING_VERTEX)
        {
            v = paths[v];
            path.insert(path.begin(), v);
            if (v == MARK)
            {
                path.clear();
                break;
            }
        }
        directPaths.push_back(path);
    }
    return std::make_pair(shortestPaths, directPaths);
}

std::vector<std::vector<size_t>> Graph::HamiltonianPath() const
{
    std::vector<std::vector<size_t>> paths;
    std::vector<size_t> vertices(getVertexCount());
    std::iota(vertices.begin(), vertices.end(), 0);
    do
    {
        bool valid = true;
        for (size_t i = 0; i < vertices.size() - 1; i++)
        {
            if (!ExistLink(vertices[i], vertices[i + 1]))
            {
                valid = false;
                break;
            }
        }
        if (valid)
        {

```



```

        paths.push_back(vertices);
    }
    } while (std::next_permutation(vertices.begin(), vertices.end()));
    return paths;
}

```

Листинг файла WorkWithGraph.h

```

#ifndef WORK_WITH_GRAPH
#define WORK_WITH_GRAPH
#include "Graph.h"
#include "HelpFunctions.h"
#include "FileLogging.h"
#include "Menu.h"

inline void mPrintGraph(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    if (graph->getVertexCount() == 0)
    {
        std::cout << "Граф пустой!\n";
        ferrlog.Logging("Attempt to display an empty graph");
        return;
    }
    graph->PrintGraph();
    foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mGraphIsEmpty(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    std::cout << "Граф пуст: " << (graph->getVertexCount() == 0 ? "да" :
"нет") << "\n";
    foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mInsertVertex(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    if (graph->getVertexCount() == INT_MAX)
    {
        std::cout << "Граф слишком большой!\n";
        ferrlog.Logging("Attempt to add a vertex to a very large graph");
    }
    graph->InsertVertex();
    std::cout << "Вершина успешно добавлена!";
    foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mDeleteVertex(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);

```

```

foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
if (graph->getVertexCount() == 0)
{
    std::cout << "Граф пустой!\n";
    ferrlog.Logging("Attempt to remove a vertex from an empty graph");
    return;
}
int v = InputInt("Введите номер вершины, которую необходимо удалить: ",
0, graph->getVertexCount() - 1, &ferrlog);
graph->DeleteVertex(v);
std::cout << "Вершина " << v << " успешно удалена!\n";
foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mCreateEdge(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    if (graph->getVertexCount() == 0)
    {
        std::cout << "Граф пустой!\n";
        ferrlog.Logging("Attempt to create an edge in an empty graph");
        return;
    }
    int v1 = InputInt("Введите номер первой вершины: ", 0, graph-
>getVertexCount() - 1, &ferrlog);
    int v2 = InputInt("Введите номер второй вершины: ", 0, graph-
>getVertexCount() - 1, &ferrlog);
    int w = InputInt("Введите вес ребра: ", INT_MIN, INT_MAX, &ferrlog);
    graph->CreateEdge(v1, v2, w);
    std::cout << "Ребро (" << v1 << ", " << v2 << ") успешно добавлено!\n";
    foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mCreateArc(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    if (graph->getVertexCount() == 0)
    {
        std::cout << "Граф пустой!\n";
        ferrlog.Logging("Attempt to create an arc in an empty graph");
        return;
    }
    int v1 = InputInt("Введите номер первой вершины: ", 0, graph-
>getVertexCount() - 1, &ferrlog);
    int v2 = InputInt("Введите номер второй вершины: ", 0, graph-
>getVertexCount() - 1, &ferrlog);
    int w = InputInt("Введите вес ребра: ", INT_MIN, INT_MAX, &ferrlog);
    graph->CreateArc(v1, v2, w);
    std::cout << "Дуга (" << v1 << ", " << v2 << ") успешно добавлено!\n";
    foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mDeleteEdge(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);

```

```

foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
if (graph->getVertexCount() == 0)
{
    std::cout << "Граф пустой!\n";
    ferrlog.Logging("Attempt to remove an edge from an empty graph");
    return;
}
int v1 = InputInt("Введите номер первой вершины: ", 0, graph-
>getVertexCount() - 1, &ferrlog);
int v2 = InputInt("Введите номер второй вершины: ", 0, graph-
>getVertexCount() - 1, &ferrlog);
graph->DeleteEdge(v1, v2);
std::cout << "Ребро (" << v1 << ", " << v2 << ") успешно удалено!\n";
foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mDeleteArc(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    if (graph->getVertexCount() == 0)
    {
        std::cout << "Граф пустой!\n";
        ferrlog.Logging("Attempt to remove an arc from an empty graph");
        return;
    }
    int v1 = InputInt("Введите номер первой вершины: ", 0, graph-
>getVertexCount() - 1, &ferrlog);
    int v2 = InputInt("Введите номер второй вершины: ", 0, graph-
>getVertexCount() - 1, &ferrlog);
    graph->DeleteArc(v1, v2);
    std::cout << "Дуга (" << v1 << ", " << v2 << ") успешно удалено!\n";
    foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mFillRandomly(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    if (graph->getVertexCount() == 0)
    {
        std::cout << "Граф пустой!\n";
        ferrlog.Logging("Attempt to fill an empty graph with random
numbers");
        return;
    }
    int minw = InputInt("Введите минимальный вес: ", INT_MIN, INT_MAX,
&ferrlog);
    int maxw = InputInt("Введите максимальный вес: ", INT_MIN, INT_MAX,
&ferrlog);
    graph->FillRandomly(minw, maxw);
    std::cout << "Матрица весов заполнена случайными числами!\n";
    foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mBreadthFirstSearch(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);

```

```

    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    if (graph->getVertexCount() == 0)
    {
        std::cout << "Граф пустой!\n";
        ferrlog.Logging("Attempt to apply a BFS in an empty graph");
        return;
    }
    int v = InputInt("Введите номер вершины, с которой надо начинать обход:
", 0, graph->getVertexCount() - 1, &ferrlog);
    std::cout << graph->BreadthFirstSearch(v) << "\n";
    foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mDepthFirstSearch(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    if (graph->getVertexCount() == 0)
    {
        std::cout << "Граф пустой!\n";
        ferrlog.Logging("Attempt to apply a DFS in an empty graph");
        return;
    }
    int v = InputInt("Введите номер вершины, с которой надо начинать обход:
", 0, graph->getVertexCount() - 1, &ferrlog);
    std::cout << graph->DepthFirstSearch(v) << "\n";
    foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mClearGraph(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    if (graph->getVertexCount() == 0)
    {
        std::cout << "Граф пустой!\n";
        ferrlog.Logging("Attempt to clear an empty graph");
        return;
    }
    graph->ClearGraph();
    std::cout << "Теперь граф пуст!\n";
    foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mDijkstra(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    if (graph->getVertexCount() == 0)
    {
        std::cout << "Граф пустой!\n";
        ferrlog.Logging("Attempt to apply Dijkstra's algorithm to an empty
graph");
        return;
    }
}

```

```

        int v = InputInt("Введите начальную вершину: ", 0, graph-
>getVertexCount() - 1, &ferrlog);
        auto dijksta = graph->Dijkstra(v);
        for (size_t i = 0; i < dijksta.first.size(); i++)
        {
            if (v != int(i))
            {
                std::cout << "Путь " << v << "->" << i << ": " <<
dijksta.second[i] << " Длина пути: " << dijksta.first[i] << "\n";
            }
        }
        foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
    }

inline void mHamiltonianPath(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    if (graph->getVertexCount() == 0)
    {
        std::cout << "Граф пустой!\n";
        ferrlog.Logging("Attempt to find Hamiltonian paths in an empty
graph");
        return;
    }
    auto hps = graph->HamiltonianPath();
    std::cout << "ГАМИЛЬТОНОВЫ ПУТИ:\n";
    if (hps.empty())
    {
        std::cout << "Не существуют в данном графе!\n";
    }
    else
    {
        for (auto i : hps)
        {
            std::cout << i << "\n";
        }
    }
    foutlog.Logging(concat("\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}

inline void mReadGraphFromFile(std::vector<std::any> params)
{
    auto graph = std::any_cast<Graph*>(params[0]);
    auto finpdata = std::any_cast<std::string>(params[1]);
    auto foutlog = std::any_cast<FileLogging>(params[2]);
    auto ferrlog = std::any_cast<FileLogging>(params[3]);
    foutlog.Logging(concat("Function call: ", __func__));
    std::fstream fin(finpdata, std::ios::in);
    Graph::WeightMatrix weightMatrix;
    std::vector<double> buffer;
    if (fin.is_open())
    {
        std::string data;
        while (fin >> data)
        {
            buffer.push_back(data == "inf" ? inf() : std::stoi(data));
        }
        int wmsize = std::sqrt(buffer.size());
        if (wmsize * wmsize == buffer.size())
        {
            for (int i = 0; i < wmsize; i++)

```

```

        {
            std::vector<double> v;
            for (int j = 0; j < wmsize; j++)
            {
                v.push_back(buffer[i * wmsize + j]);
            }
            weightMatrix.push_back(v);
        }
        Graph newGraph(weightMatrix);
        *graph = newGraph;
        std::cout << "Граф успешно считан из файла " << finpdata <<
"!\\n";
    }
    else
    {
        std::cout << "Матрица весов в файле не квадратная!\\n";
        ferrlog.Logging("Weight matrix is not square");
    }
}
else
{
    std::cout << "Ошибка при открытии файла!\\n";
    ferrlog.Logging("Error opening file");
}
foutlog.Logging(concat("\\n", vvtos(graph->getWeightMatrix())));
}
#endif

```

Листинг файла main.cpp

```

#include <iostream>
#include "WorkWithGraph.h"

int main(int argc, char* argv[])
{
    setlocale(LC_ALL, "Russian");
    std::string file_input_data = "input_data.txt";
    std::string file_output_log = "output_log.txt";
    std::string file_error_log = "error_log.txt";
    if (argc >= 3)
    {
        file_input_data = argv[1];
        file_output_log = argv[2];
        file_error_log = argv[3];
    }
    FileLogging error_log(file_error_log);
    FileLogging output_log(file_output_log);

    Graph::WeightMatrix weightMatrix{};
    Graph* graph = new Graph(weightMatrix);
    std::vector<std::any> params{ graph, file_input_data, output_log,
error_log };
    Menu menu = Menu("Главное", std::vector<Menu>
    {
        Menu("Вывести граф (матрицу весов)", mPrintGraph),
        Menu("Операции над графом", std::vector<Menu>
        {
            Menu("Заполнить матрицу весов случайными числами",
mFillRandomly),
            Menu("Очистить граф", mClearGraph),
            Menu("Проверка графа на пустоту", mGraphIsEmpty),
            Menu("Добавить вершину в граф", mInsertVertex),

```

```

        Menu("Удалить вершину из графа", mDeleteVertex),
        Menu("Создать ребро в графе", mCreateEdge),
        Menu("Создать дугу в графе", mCreateArc),
        Menu("Удалить ребро из графа", mDeleteEdge),
        Menu("Удалить дугу из графа", mDeleteArc)
    }},
    Menu("Алгоритмы на графе", std::vector

```

Результат выполнения программы

Запуск программы из консоли

```

C:\Users\user\OneDrive\Рабочий стол\3-ий семестр\Типы и структуры данных\DTaS_Lab3V34\x64\Release>DTaS_Lab3V34 1.txt 2.txt 3.txt

```

Главное меню

```

Меню 'Главное'
1. Вывести граф (матрицу весов)
2. Операции над графом
3. Алгоритмы на графе
4. Считать граф из файла
Нажмите ESC для выхода из 'Главное'

```

Считывание графа из файла

```

Граф успешно считан из файла 1.txt!
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .

```

Вывод графа (матрицы весов)

```

    0   10   0   30  100
    0   0   50   0   0
    0   0   0   0   10
    0   0  20   0   60
    0   0   0   0   0
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .

```

Меню операций над графом

```
Меню 'Операции над графом'  
1. Заполнить матрицу весов случайными числами  
2. Очистить граф  
3. Проверка графа на пустоту  
4. Добавить вершину в граф  
5. Удалить вершину из графа  
6. Создать ребро в графе  
7. Создать дугу в графе  
8. Удалить ребро из графа  
9. Удалить дугу из графа  
Нажмите ESC для выхода из 'Операции над графом'
```

Проверка графа на пустоту

```
Граф пуст: нет  
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

Добавление вершины в граф

```
Вершина успешно добавлена! Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

```
    0    10    0    30   100    0  
    0     0   50     0     0     0  
    0     0    0     0    10     0  
    0     0   20     0   60     0  
    0     0    0     0     0     0  
    0     0    0     0     0     0  
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

Удаление вершины из графа

```
Введите номер вершины, которую необходимо удалить: 1  
Вершина 1 успешно удалена!  
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

```
    0     0   30   100    0  
    0     0    0    10    0  
    0   20    0   60    0  
    0     0    0     0    0  
    0     0    0     0    0  
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```


Создание ребра в графе

```
Введите номер первой вершины: 0
Введите номер второй вершины: 1
Введите вес ребра: 4
Ребро (0, 1) успешно добавлено!
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

0	4	30	100	0
4	0	0	10	0
0	20	0	60	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Для продолжения нажмите любую клавишу . . .

Создание дуги в графе

```
Введите номер первой вершины: 0
Введите номер второй вершины: 4
Введите вес ребра: 7
Дуга (0, 4) успешно добавлено!
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

0	4	30	100	7
4	0	0	10	0
0	20	0	60	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Для продолжения нажмите любую клавишу . . .

Удаление ребра из графа

```
Введите номер первой вершины: 0
Введите номер второй вершины: 1
Ребро (0, 1) успешно удалено!
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

0	0	30	100	7
0	0	0	10	0
0	20	0	60	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Для продолжения нажмите любую клавишу . . .

Удаление дуги из графа

```
Введите номер первой вершины: 0
Введите номер второй вершины: 3
Дуга (0, 3) успешно удалено!
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

Очистка графа

```
Теперь граф пуст!
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

```
Граф пустой!
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

Заполнение графа случайными числами

```
Введите минимальный вес: 3
Введите максимальный вес: 25
Матрица весов заполнена случайными числами!
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

```
22    6    9    7    5
18    5    3    9   24
 3   16   18   18   15
12   13   21   23   13
 4    4   22    4   10
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

Меню алгоритмов на графе

```
Меню 'Алгоритмы на графе'
1. Обход графа
2. Поиск гамильтоновых путей
3. Поиск кратчайшего пути Алгоритмом Дейкстры
Нажмите ESC для выхода из 'Алгоритмы на графе'
```

Меню обхода графа

```
Меню 'Обход графа'
1. Обход в ширину
2. Обход в глубину
Нажмите ESC для выхода из 'Обход графа'
```

Обход в ширину

```
Введите номер вершины, с которой надо начинать обход: 1
[1, 0, 2, 3, 4]
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

Обход в глубину

```
Введите номер вершины, с которой надо начинать обход: 1
[1, 2, 3, 4]
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

Поиск кратчайшего пути алгоритмом Дейкстры

```
Введите начальную вершину: 0
Путь 0->1: [0, 1] Длина пути: 6
Путь 0->2: [0, 2] Длина пути: 9
Путь 0->3: [0, 3] Длина пути: 7
Путь 0->4: [0, 4] Длина пути: 5
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

Поиск гамильтоновых путей

```
Гамильтоновы пути:
[0, 1, 2, 3, 4]
[0, 1, 2, 4, 3]
[0, 1, 3, 2, 4]
[0, 1, 3, 4, 2]
[0, 1, 4, 2, 3]
[0, 1, 4, 3, 2]
[0, 2, 1, 3, 4]
[0, 2, 1, 4, 3]
[0, 2, 3, 1, 4]
[0, 2, 3, 4, 1]
[0, 2, 4, 1, 3]
[0, 2, 4, 3, 1]
[0, 3, 1, 2, 4]
[0, 3, 1, 4, 2]
[0, 3, 2, 1, 4]
[0, 3, 2, 4, 1]
[0, 3, 4, 1, 2]
[0, 3, 4, 2, 1]
[0, 4, 1, 2, 3]
[0, 4, 1, 3, 2]
[0, 4, 2, 1, 3]
[0, 4, 2, 3, 1]
[0, 4, 3, 1, 2]
[0, 4, 3, 2, 1]
[1, 0, 2, 3, 4]
[1, 0, 2, 4, 3]
[1, 0, 3, 2, 4]
[1, 0, 3, 4, 2]
[1, 0, 4, 2, 3]
```

Пример ошибки программы

```
Введите номер первой вершины: вав  
Можно ввести только целое число!  
Введите номер первой вершины:
```

Содержимое файла 1.txt после выполнения программы

```
inf 10 inf 30 100  
inf inf 50 inf inf  
inf inf inf inf 10  
inf inf 20 inf 60  
inf inf inf inf inf
```

Содержимое файла 2.txt после выполнения программы

```
[Tue Dec 27 11:55:47 2022]Function call: mDijkstra  
[Tue Dec 27 11:55:49 2022]  
[22, 6, 9, 7, 5]  
[18, 5, 3, 9, 24]  
[3, 16, 18, 18, 15]  
[12, 13, 21, 23, 13]  
[4, 4, 22, 4, 10]  
  
[Tue Dec 27 11:56:20 2022]Function call: mHamiltonianPath  
[Tue Dec 27 11:56:20 2022]  
[22, 6, 9, 7, 5]  
[18, 5, 3, 9, 24]  
[3, 16, 18, 18, 15]  
[12, 13, 21, 23, 13]  
[4, 4, 22, 4, 10]  
  
[Tue Dec 27 11:57:22 2022]Function call: mCreateEdge  
[Tue Dec 27 11:58:06 2022]  
[22, 6, 9, 7, 5]  
[18, 5, 3, 9, 24]  
[3, 3, 18, 18, 15]  
[12, 13, 21, 23, 13]  
[4, 4, 22, 4, 10]
```

Содержимое файла 3.txt после выполнения программы

```
[Tue Dec 27 11:52:12 2022]Attempt to display an empty graph  
[Tue Dec 27 11:57:25 2022]Incorrect number entry
```

Выводы:

В ходе работы были сформированы практические навыки создания алгоритмов обработки графов.

