|  |  |
| --- | --- |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № дубл. |  |
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № подл | RU.17701729.04.13-01 34 01-1-ЛУ |

**ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

|  |  |
| --- | --- |
| СОГЛАСОВАНО  Доцент департамента больших данных и информационного поиска факультета компьютерных наук, к.ф.-м.н.  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В. Л. Чернышев «\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 г. | УТВЕРЖДАЮ  Академический руководитель образовательной программы «Программная инженерия» профессор департамента программной инженерии, канд. техн. наук  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В. В. Шилов  «\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 г. |

Факультет компьютерных наук  
Департамент программной инженерии

**ПРОГРАММА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТОЧЕК НА**

**ОРИЕНТИРОВАННОМ МЕТРИЧЕСКОМ ГРАФЕ, С УСЛОВИЕМ**

**СИНХРОНИЗАЦИИ В ВЕРШИНАХ**

**Руководство оператора**

**ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ**

**RU.17701729.04.13-01 34 01-1-ЛУ**

Исполнитель

студент группы БПИ196

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ / А. А. Баранова /

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 г.

|  |  |
| --- | --- |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № дубл. |  |
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № подл | RU.17701729.04.13-01 34 01-1-ЛУ |

УТВЕРЖДЕНRU.17701729.04.13-01 34 01-1-ЛУ

**ПРОГРАММА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТОЧЕК НА**

**ОРИЕНТИРОВАННОМ МЕТРИЧЕСКОМ ГРАФЕ, С УСЛОВИЕМ**

**СИНХРОНИЗАЦИИ В ВЕРШИНАХ**

**Руководство оператора**

**RU.17701729.04.13-01 34 01-1**

**Листов 29**

СОДЕРЖАНИЕ

[1. НАЗНАЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ 3](#_Toc40914623)

[1.1. Функциональное назначение 3](#_Toc40914624)

[1.2. Эксплуатационное назначение 3](#_Toc40914625)

[2. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ 4](#_Toc40914626)

[2.1. Минимальный состав аппаратных средств 4](#_Toc40914627)

[2.2. Минимальный состав программных средств 4](#_Toc40914628)

[2.3. Требования к персоналу (пользователю) 4](#_Toc40914629)

[3. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОГРАММЫ 5](#_Toc40914630)

[3.1. Установка программы. 5](#_Toc40914631)

[3.2. Запуск программы и работа с приложением. 5](#_Toc40914632)

[3.2.1. Запуск приложения. 5](#_Toc40914633)

[3.2.2. Работа с приложением. 5](#_Toc40914634)

[3.2.2.1. Работа с главным меню. 5](#_Toc40914635)

[3.2.2.2. Работа с редактором графов. 9](#_Toc40914636)

[3.2.2.3. Моделирование движения точек. 18](#_Toc40914637)

[3.2.2.4. Дополнительно. 20](#_Toc40914638)

[4. СООБЩЕНИЯ ОПЕРАТОРУ 22](#_Toc40914639)

[ПРИЛОЖЕНИЕ 1 26](#_Toc40914640)

[ПРИЛОЖЕНИЕ 2 27](#_Toc40914641)

[ПРИЛОЖЕНИЕ 3 28](#_Toc40914642)

1. **НАЗНАЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ**
   1. **Функциональное назначение**

Функциональным назначением разработанного приложения является работа с выбранным пользователем из архива ранее созданных, либо новым, построенным им в специальном редакторе, сильно связным ориентированным метрическим графом с целью моделирования движения на нем точек, с условием синхронизации в вершинах разных типов, а также получения минимального анализа поведения этих точек и визуализации происходящих на графе процессов.

* 1. **Эксплуатационное назначение**

Программа может быть использована преподавателями, студентами или исследователями, работающими в различных областях математики и информатики при рассмотрении разнообразных задач на графах, или нейробиологии - при моделировании различных реальных процессов в нейронных сетях с использованием данной математической модели. Таким образом, продукт разработки позволит решать задачи, возникающие при составлении теоретических моделей в ходе научных исследований.

1. **УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ**
   1. **Минимальный состав аппаратных средств**
2. персональный компьютер, оснащенный 32-разрядным (x86) или 64-разрядным (x64) процессором с тактовой частотой 1 ГГц и выше (рекомендуется процессор Intel Core i7 с частотой 1.8ГГц и выше или аналогичный процессор);
3. 512 МБ оперативной памяти (ОЗУ) или больше;
4. не менее 4.5 ГБ свободного места на жестком диске;
5. видеокарта и монитор с разрешением не менее чем 1258x753 точек;
6. клавиатура и мышь.
   1. **Минимальный состав программных средств**

1) операционная система Microsoft Windows 7 SP1 или более поздняя версия;

2) установленный Microsoft .NET Framework 4.7.

* 1. **Требования к персоналу (пользователю)**

Минимальное количество персонала, требуемого для работы программы, должно составлять не менее 1 штатной единицы:

1) конечный пользователь – оператор ЭВМ.

Для работы с данной программой конечный пользователь должен:

1) обладать практическими навыками работы с графическим пользовательским интерфейсом операционной системы Windows;

2) обладать базовыми знаниями в теории графов;

3) знать английский язык.

1. **ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОГРАММЫ**

В данном разделе описана последовательность действий оператора, обеспечивающих загрузку, запуск, выполнение и завершение программы, приведены описание функций, формата и возможных вариантов команд, с помощью которых оператор осуществляет загрузку и управляет выполнением программы, а также ответы программы на эти команды.

* 1. **Установка программы.**

Для корректного функционирования приложения необходимо скачать архив с необходимыми файлами. Разархивировав папку, нужно запустить приложение «DotsMovementModelingApp.exe» из папки «\CourseworkApp\bin\Debug».

* 1. **Запуск программы и работа с приложением.**
     1. **Запуск приложения.**

Запуск приложений возможно осуществлять через ярлыки на рабочем столе, либо с помощью файлов .exe, находящихся в папке со скачанными файлами приложения.

* + 1. **Работа с приложением.**
       1. **Работа с главным меню.**

При запуске программы открывается стартовой экран приложения, представляющий собой главное меню, позволяющее выбрать способ предоставления программе данных графа.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 1 – Стартовый экран приложения.

1. При нажатии на кнопку создания нового графа открывается пустой редактор графа, в котором пользователь может построить свой граф.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 2 – Пустой редактор графа.

2. При нажатии кнопки открытия графа открывается диалог, в котором можно выбрать файл формата .dgmm, содержащий данные о построенном ранее в программе графе в сериализованном с использованием XML сериализации виде. После выбора файла, если данные выбранного файла корректны, орграф будет открыт в редакторе. В противном случае пользователь получит сообщение об ошибке.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, монитор, грузовик

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана, компьютер

Автоматически созданное описание

Рисунок 3 – Открытие графа из файла.

3. При нажатии на кнопку генерации случайного графа открывается вспомогательное окно для выбора количества вершин графа.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 4 – Вспомогательное окно для генерации случайного графа.

По клику на кнопку Ok запускается генерация графа, после чего он открывается в редакторе, где может производиться дальнейшая с ним работа.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 5 – Пример сгенерированного случайного сильно связного графа.

4. При нажатии на кнопку генерации квадратной решетки открывается вспомогательное окно для выбора параметров решетки. Пользователю предлагается выбрать размер решетки, а также определить, заполнять параметры графа и длины дуг случайными значениями, либо умалчиваемыми.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 6 – Пример выбора параметров построения квадратной решетки.

По клику на кнопку Ok запускается построение графа по выбранным параметрам, после чего он открывается в редакторе, где может производиться дальнейшая с ним работа.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 7 – Результат построения квадратной решетки по параметрам рис. 4 (соответственно).

5. При нажатии на кнопку генерации треугольной решетки открывается вспомогательное окно для выбора параметров решетки. Пользователю предлагается выбрать размер решетки, а также определить, заполнять параметры графа и длины дуг случайными значениями, либо умалчиваемыми.

Изображение выглядит как снимок экрана, птица

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана, птица

Автоматически созданное описание

Рисунок 8 – Пример выбора параметров построения треугольной решетки.

По клику на кнопку Ok запускается построение графа по выбранным параметрам, после чего он открывается в редакторе, где может производиться дальнейшая с ним работа.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 9 – Результат построения треугольной решетки по параметрам рис. 6 (соответственно).

Кнопка Cancel вспомогательных окон для генерации случайных графов, построения решеток закрывает окно, пользователь остается в главном меню.

* + - 1. **Работа с редактором графов.**

Экран редактора графов содержит поле, на котором происходит отрисовка графа, боковое меню, содержащее инструменты для создания и редактирования графа, а таже элемент управления TabControl в правой части экрана, позволяющий задавать длины дуг графа и такие его параметры, как пороги вершин, продолжительность их рефракторного периода, начальные состояния, а также выбирать опции моделирования.

1. Боковая панель инструментов позволяет добавлять в граф вершины и дуги, удалять их из графа, двигать отдельные вершины и весь граф целиком, менять размеры графа, радиусы отрисовки вершин и цвета отрисовки элементов графа, отменять и возвращать отмененные изменения.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 10 – Панель инструментов создания и редактирования графа.

1.1 Чтобы добавить в граф вершину, необходимо выбрать инструмент добавления вершин, визуально определить выбранный инструмент можно по его изображению, которое становится светлее, когда инструмент выбран. Когда выбран инструмент, позволяющий добавить вершину в граф, достаточно кликнуть в точке на поле, в которой необходимо добавить вершину. После чего новая вершина добавляется в граф и появляется на поле.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 11 – Результат проставления вершин на поле.

1.2 Выбрав инструмент добавления дуг, последовательно выбирая вершины на поле для их соединения, можно добавить дугу в граф. В добавлении дуги будет отказано, если выбранная вершина начала совпадает с выбранной вершиной конца, или в случае, когда выбранная дуга уже существует.

Изображение выглядит как снимок экрана, монитор, компьютер

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 12 – Добавление дуги.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 13 – Отказ в добавлении дуги.

1.3 При выбранном инструменте «Ластик», чтобы удалить вершину или дугу, необходимо дважды кликнуть на необходимый элемент.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

b) Удаление вершины

a) Граф до удаления элементов.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

c) Удаление дуги

Рисунок 14 – Удаление элементов графа.

1.4 При выбранном инструменте «Курсор» зажатую. мышью вершину можно передвигать по полю.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 15 – Передвижение вершины.

1.5 Граф таже можно целиком передвинуть на плоскости. Для этого можно либо воспользоваться соответствующими кнопками боковой панели инструментов, либо воспользоваться сочетанием клавиш Ctrl+Up, Ctrl+Right, Ctrl+Down, Ctrl+Left. Движение графа в вертикальном направлении также возможно осуществить вращением колесика мыши.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 16 – Передвижение графа.

1.6 Изменить размеры графа можно воспользовавшись соответствующими кнопками

панели инструментов, либо используя сочетание клавиш Ctrl+Plus, Ctrl+Minus, либо вращением колесика мыши при зажатой клавише Ctrl.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 17 – Изменение размеров графа.

1.7 Перемещением ползунка в боковой панели можно изменить радиус отрисовки вершин.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 18 – Изменение радиуса вершин.

1.8 Чтобы изменить цвет отрисовки элементов графа, необходимо кликнуть по прямоугольнику на панели, отвечающему за цвет соответствующего элемента графа. После чего на нем появится кнопка, по клику которой открывается диалог для выбора цвета. После выбора в этом диалоге цвета и нажатия кнопки OK, цвет отрисовки будет изменен.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 19 – Изменение цветов отрисовки элементов

1.9 Чтобы отменить последние совершенные действия при редактировании графа (вышеперечисленные, а также изменение длины дуги [см. рис. 20]) необходимо либо воспользоваться соответствующей кнопкой боковой панели, либо использовать сочетание клавиш Ctrl+Z. Аналогично, чтобы вернуть отмененное действие, необходимо либо воспользоваться соответствующей кнопкой боковой панели, либо использовать сочетание клавиш Ctrl+Y.

2. Страницы TabControl, расположенного в правой части основного экрана, содержат элементы управления, позволяющие задавать необходимые для моделирования параметры построенного орграфа, а также выбирать тип моделирования, дополнительные необходимые действия и скорость движения точек на графе при моделировании их движения.

2.1 Страница «Adjacency and Arcs Length» содержит матрицу смежности графа, а также элементы управления, позволяющие задавать длину дуг. Чтобы изменить длину дуги графа, необходимо выбрать саму дугу, это можно сделать, кликнув по нужной ячейке матрицы смежности, имея в виду, что по вертикали расположены вершины начала, а по горизонтали – конца. После выбора таким образом дуги, ее условное обозначение появится в элементе ComboBox, расположенном слева над матрицей. Длина дуги появится в текстовом поле над матрицей. Дугу также можно выбрать из списка в ComboBox. Чтобы подтвердить изменения, необходимо нажать кнопку Ok. Если введено некорректное значение, или некорректно выбрана дуга, пользователь получит соответствующее сообщение.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 20 – Изменение длины дуги.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 21- Примеры некорректных попыток изменения длин.

2.2 Страница «Graph Parameters» содержит таблицу, отображающую для каждой вершины графа ее порог, продолжительность рефракторного периода и начальное состояние. Меняя в самой таблице значение в ячейке, пользователь меняет соответствующий параметр у соответствующей вершины. Здесь по вертикали – номера вершин, по горизонтали – краткое наименование параметра.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 22 – Пример изменения параметров графа.

2.3 Изменить параметры моделирования, то есть выбрать тип моделирования, дополнительные действия, а также изменить скорость движения точек можно на вкладке «Modeling Options». Для этого необходимо просто отметить нужные элементы или ввести желаемое значение скорости (от 1 до 10 ед./с).

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 23 – Пример выбора параметров моделирования.

* + - 1. **Моделирование движения точек.**

1. Чтобы запустить моделирование, требуется нажать на кнопку «Movement» верхнего меню. По нажатию кнопки граф проверяется на соответствие требованиям (он должен быть сильно связным и иметь не менее 3 вершин). После того, как граф пройдет проверку, моделирование движения будет запущено и в верхнем меню появятся кнопки, позволяющие остановить движение и завершить его.

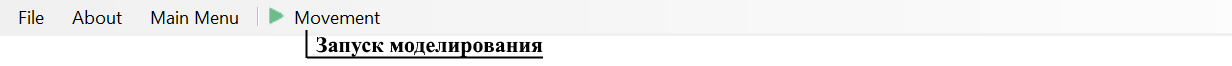


Рисунок 24 – верхнее меню приложения во время создания и редактирования графа

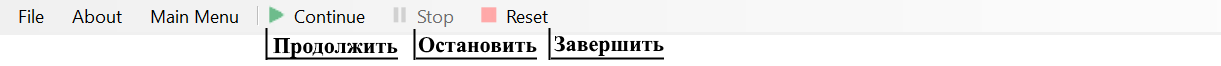


Рисунок 25 – верхнее меню приложения во время моделирования движения точек.

2. Если среди параметров моделирования было выбрано построение графика, он будет строиться параллельно с моделированием движения. График количества точек на графе обновляется при изменении этого числа, график распределения лавин обновляется, когда система приходит в стабильное состояние.

Изображение выглядит как снимок экрана

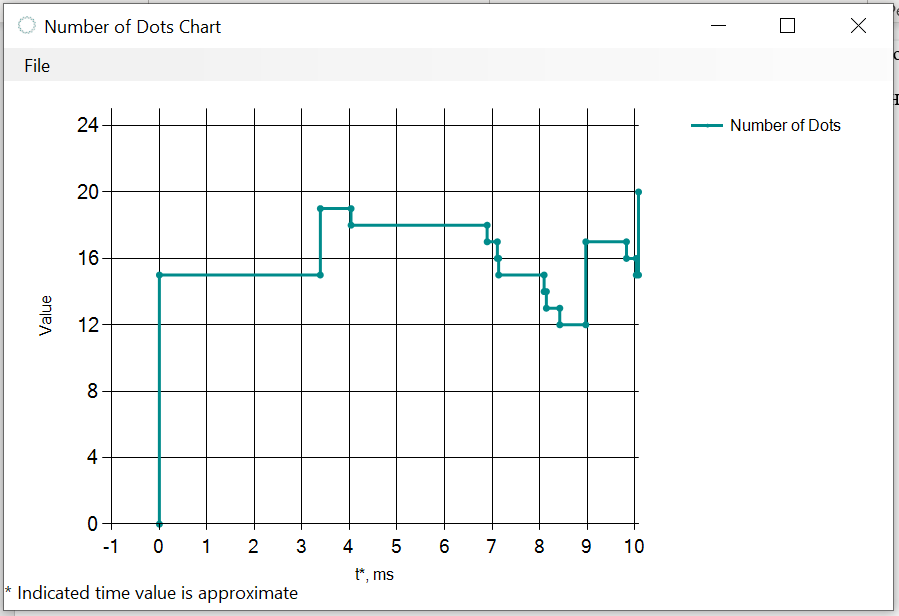
Автоматически созданное описание 

Рисунок 26 – Примеры построенных графиков.

3. Модель песка.

3.1 Перед началом моделирования движения песка пользователю предлагается выбрать стоковые вершины. Для этого достаточно кликнуть по вершине на поле. Выбранная в качестве стоковой, вершина окрашивается в черный и индикатор количества в ней точек пропадает. В выбранной вершине не будет происходить обвалов. Для отмены выбора необходимо кликнуть по вершине повторно.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, грузовик, ноутбук

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, внутренний, ноутбук

Автоматически созданное описание

Рисунок 27 – Выбор стоковых вершин.

3.2 После того как в ходе моделирования движения песка в результате релаксации система приходит к стабильному состоянию, пользователю предлагается добавить песчинку в одну из вершин, либо же добавить ее случайным образом. Для выбора вершины для добавления песка необходимо кликнуть по ней мышкой. В появившемся сообщении можно поставить отметку о том, чтобы программа всегда добавляла песок в случайную вершину. В случае выбора данной опции до конца моделирования данное сообщение больше не появится.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, внутренний, ноутбук

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, внутренний, ноутбук

Автоматически созданное описание

Рисунок 28 – Добавление песчинки.

3.3 Палитра цветов-условных обозначений количества точек в вершинах отображается на панели инструментов (см. рис. 27-28). Цифры слева обозначают число точек в вершине, цвет ячейки справа – соответствующий этому числу цвет.

4. Для сохранения созданного GIF-изображения, если таковое было запрошено, в появившемся после окончания движения для стандартного типа моделирования и после нажатия кнопки завершить для моделирования движения песка в диалоговом окне необходимо выбрать нужный файл и нажать кнопку сохранить.

* + - 1. **Дополнительно.**

1. Основное окно приложения содержит элемент верхнего меню File, позволяющий открыть новый проект (аналогично кнопке Build главного меню), открыть проект из файла (аналогично кнопки открытия графа главного меню), а также сохранить граф тремя способами.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, внутренний, монитор

Автоматически созданное описание

Рисунок 29 – элемент верхнего меню File основного окна.

Save Data позволяет сохранить граф в формат .dgmm, из которого в последствии можно будет открыть граф для работы с ним в приложении.

Save Image сохраняет изображение графа в формате .jpg.

Для сохранения графа в приведенных выше форматах необходимо выбрать файл в открывающемся диалоговом окне и нажать кнопку сохранить.

Save All открывает диалоговое окно для выбора папки, в которую сохраняется граф. В эту папку сохраняется как изображение, так и файл .dgmm.

2. Аналогично окна графиков содержат элемент верхнего меню File, позволяющий сохранить график тремя способами.

Изображение выглядит как компьютер, внутренний, снимок экрана, монитор

Автоматически созданное описание

Рисунок 30 - элемент верхнего меню File окна с графиком.

Save Data позволяет сохранить график в формат .csv.

Save Image сохраняет изображение графика в формате .jpg.

Для сохранения графика в приведенных выше форматах необходимо выбрать файл в открывающемся диалоговом окне и нажать кнопку сохранить.

Save All открывает диалоговое окно для выбора папки, в которую сохраняется график. В эту папку сохраняется как изображение, так и файл .csv.

3. Кнопка About верхнего меню предоставляет пользователю краткую справку о разработчике и программе.

4. Выйти из приложения можно нажав на крестик в правом верхнем углу основного окна приложения, а также нажав на Exit в меню File. Если граф на момент выхода не пустой, то есть имеет хотя бы одну вершину, перед выходом пользователю будет предложено сохранить граф.

1. **СООБЩЕНИЯ ОПЕРАТОРУ**

В данном разделе приведены тексты сообщений, выдаваемых в ходе выполнения программы, описание их содержания и соответствующие действия оператора (действия оператора в случае сбоя, возможности повторного запуска программы и т.п.).

При попытке передать программе файл с некорректным содержанием, оператор получит соответствующее сообщение, содержащее краткую справку о проблеме. В случае появления такого сообщения при попытке открытия файла оператору следует закрыть окно и выбрать либо другой файл, либо другой способ предоставления программе входных данных.

Изображение выглядит как снимок экрана, птица

Автоматически созданное описание

Рисунок 31 – Сообщение об ошибке при попытке предоставления программе некорректного файла.

Если при построении графа оператор попытается создать граф на более чем двухстах вершинах, будет выведено сообщение о невозможности совершения операции. При получении данного сообщения оператору следует закрыть окно и попробовать работу с меньшим количеством вершин.

Изображение выглядит как снимок экрана, птица, цветок

Автоматически созданное описание

Рисунок 31 – Сообщение о превышении количества вершин.

При попытке добавить в граф уже существующую дугу или петлю оператор получит уведомление об ошибке. При получении данного сообщения оператору следует закрыть окно сообщения и продолжать редактирование графа корректными действиями.

Изображение выглядит как птица

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана, птица, цветок

Автоматически созданное описание

Рисунок 32 – Сообщения при попытке некорректного добавления дуги.

При попытке изменить длину несуществующей дуги пользователь получит сообщение об ошибке. В этом случае следует закрыть сообщение и выбрать существующую дугу для изменения длины.

Изображение выглядит как снимок экрана, птица

Автоматически созданное описание

Рисунок 33 – Сообщение при попытке изменить длину несуществующей дуги.

При попытке изменить длину дуги, если она еще не была выбрана пользователь получит сообщение об ошибке. В этом случае следует закрыть сообщение и выбрать необходимую дугу для изменения длины.

Изображение выглядит как снимок экрана, птица, цветок

Автоматически созданное описание

Рисунок 34 – Сообщение при попытке изменить длину дуги, не выбрав дугу для изменения.

При попытке ввода отрицательного или нулевого значения длины дуги, а также некорректного математического выражения пользователь получит сообщение об ошибке. В этом случае следует закрыть сообщение и ввести корректную длину дуги, либо убедиться в корректности введенного выражения.

Изображение выглядит как снимок экрана, птица, цветок

Автоматически созданное описание

Рисунок 35 – Сообщение при попытке ввода некорректной длины дуги.

При попытке запуска моделирования на не сильно связном графе пользователь получит сообщение о некорректности графа. В этом случае следует закрыть окно сообщения и достроить граф до сильно связного перед повторным запуском моделирования движения на нем.

Изображение выглядит как снимок экрана, птица

Автоматически созданное описание

Рисунок 36 – Сообщение при попытке запуска моделирования на не сильно связном графе.

При моделировании движения точек на графе, если их количество начинает превосходить установленный порог в 20 тысяч точек, моделирование прерывается, а пользователь получает соответствующее сообщение. В случае получения данного сообщения оператору следует закрыть его и, возможно, попробовать запустить моделирование с другими параметрами.

Изображение выглядит как снимок экрана, птица, дерево, цветок

Автоматически созданное описание

Рисунок 37 – Сообщение о превышение максимального количества точек.

Перед выходом из приложения, переходом из редактора в главное меню, удалением созданного графа программа предложит его сохранить. В появившемся окне необходимо выбрать: сохранить граф перед выполнением действия, не сохранять или отменить действие.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 37 – Сообщение о превышение максимального количества точек.

Если в ходе работы приложения произойдет непредвиденная ошибка, пользователь будет уведомлен о происшествии, работа программы будет прекращена, а приложение закрыто. В этом случае пользователь может перезапустить приложение.

Изображение выглядит как снимок экрана, птица, цветок

Автоматически созданное описание

Рисунок 38 – Сообщение о непредвиденной ошибке, ведущей к закрытию приложения.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

**ТЕРМИНОЛОГИЯ**

Ниже приведен список необходимых терминов для ознакомления.

**Вершина** – базовое понятие. Точка, где могут сходиться/выходить рёбра и/или дуги.

**Ребро** – базовое понятие. Ребро соединяет две вершины графа.

**Дуга** – ребро, имеющее направление. Упорядоченная пара вершин (v, w), где вершину v называют началом, а w - концом дуги. Можно сказать, что дуга v → w ведет от вершины v к вершине w, при этом вершина w смежная с вершиной v.

**Граф** – базовое понятие. Включает множество вершин и множество рёбер, являющееся подмножеством декартова квадрата множества вершин (то есть каждое ребро соединяет ровно две вершины).

**Орграф** – ориентированный граф G = (V, E) есть пара множеств, где V - множество вершин (узлов), E – множество дуг.

**Сильно связный граф** – ориентированный граф, в котором все вершины сильно связаны, т. е. существует путь из первой во вторую и из второй в первую и т. д.

**Метрический граф** – граф, каждое ребро которого имеет заданное вещественное время прохождения.

**Инцидентность** — отношение между ребром (дугой) и его концевыми вершинами, т.е. ребро e = (a,b) инцидентно вершинам a и b и вершины a, b инцидентны ребру e = (a,b).

**Порогом** вершины здесь называется число точек в ней, необходимое для того, чтобы вершина могла выпустить точки.

**Рефракторный период** вершины – это время (в мс), в течение которого после выпуска точек вершина не может выпустить их снова, даже если количество точек в ней превышает установленный порог.

**Состоянием** вершины здесь называется количество в ней точек.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

**ТЕРМИНОЛОГИЯ ПЕСОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ**

**Модель песчаной кучи** (англ. sandpile model) — классическая модель теории самоорганизованной критичности, связанная со многими областями математики. Ниже приведен список необходимых терминов для ознакомления [подробнее см. Список литературы 1, 12].

Состояние модели на графе задаётся количествами песчинок в вершинах графа и эволюционирует по следующему правилу: если количество песчинок в вершине не меньше её степени, то вершина отдаёт по одной песчинке каждому из своих соседей. Такая операция называется **обвалом** (toppling).

Процесс выполнения обвалов пока это возможно называется **релаксацией**, а ее размер называется **размером лавины** и равен количеству вершин, в которых произошли при релаксации обвалы.

**Сток** – множество вершин, в которых запрещены обвалы, песок, попадающий в одну из стоковых вершин, попросту исчезает.

Состояние системы называется **стабильным** если ни в одной точке обвал произойти не может.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**

**ОПИСАНИЕ ФОРМАТА .DGMM**

Файл формата .dgmm содержит в сереализованном с использованием XML сериализации виде информацию об орграфе, созданном в программе.

Программа позволяет открыть файл формата .dgmm, и при этом осуществляет корректное открытие только файлов данного формата, созданных в этой программе.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Лист регистрации изменений | | | | | | | | | |
| Изм. | Номера листов | | | | Всего листов (страниц) в документе | № документа | Входя- щий № сопро- водит. докум. и дата | Под- пись | Дата |
| изменен- ных | заменен- ных | новых | аннулиро- ванных |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |