

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра информатики и программирования

**ГЕНЕРАЦИЯ СЛОЖНЫХ СЕТЕЙ С ЗАДАННЫМИ  
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ОСНОВЕ МОТИВОВ**

**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки 2 курса 273 группы

направления 02.04.03 Математическое обеспечение и администрирование  
информационных систем

факультета компьютерных наук и информационных технологий

Громовой Галины Владиславовны

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

Огнева М. В.

подпись, дата

Заведующий кафедрой:

к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

Огнева М. В.

подпись, дата

Саратов 2026

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Многие современные сложные системы, такие как информационные, биологические или социальные зачастую эффективно моделируются с помощью графов, где сущности представлены вершинами, а их взаимосвязи — рёбрами. Такой подход позволяет выявлять скрытые закономерности, анализировать структуру и динамику систем, а также решать задачи кластеризации, прогнозирования и рекомендаций. Особенно актуально сейчас изучение социальных сетей различного рода. В данной области выделяют ряд направлений: анализ поведения пользователей, прогнозирование, рекомендации, кластеризация, взаимодействие с другими социальными сетями/ресурсами и визуализация .

Генерация сложных сетей с заданными характеристиками позволяет исследователям из различных областей решать проблемы нехватки данных для исследования и анализа, обучения, тестирования или симуляции реальных систем и полной анонимизации данных. Существует ряд моделей генерации сетей, различающихся по сложности, области применения и свойствам сетей, на основе которых они строятся. Наряду с классическими подходами, такими как модель Эрдёша – Реньи или модель Барабаши – Альберт, активно развиваются методы, основанные на мотивах .

Именно поэтому данное направление исследований является актуальным. Важно отметить, что в данной работе исследования ограничиваются ориентированными сетями.

**Цель магистерской работы** – реализация модели генерации сложных сетей с заданными характеристиками и разработка платформы для анализа и генерации сетей с ее использованием.

Поставленная цель определила **следующие задачи**:

1. изучить текущие исследования в сфере сложных сетей;
2. привести теоретический обзор, посвященный проблеме генерации графов;
3. выбрать стек технологий для реализации модели и веб-приложения;

4. реализовать мультиплетную модель Вегнера;
5. выбрать реальные сети для оценки качества полученной модели;
6. провести оценку качества реализованной модели и сравнить с другими рассмотренными моделями;
7. определить функционал веб-приложения для анализа и генерации сетей;
8. реализовать приложение, с определенными на предыдущих этапах функционалом и стеком технологий;
9. протестировать работу полученного веб-приложения.

**Методологические основы** исследования генерации сложных сетей с заданными характеристиками на основе мотивов представлены в работах Альхадж Р. и Рокне Дж. Э. , Вегнера А. Е., Маккей, Д. Дж. С. , Альберт Р. И Барабаши А.Л. .

**Практическая значимость магистерской работы** заключается в исследовании моделей генерации сетей и реализации мультиплетной модели, анализе качества сгенерированных с его помощью сетей на основе различных реальных социальных сетей и реализации веб-приложения для анализа и генерации сетей с использованием мультиплетной модели.

**Структура и объём работы.** Магистерская работа состоит из обозначений и сокращений, введения, 6 разделов, заключения, списка использованных источников и 4 приложений. Общий объем работы – 115 страниц, из них 65 страниц – основное содержание, включая 12 рисунков и 12 таблиц, цифровой носитель в качестве приложения, список использованных источников информации – 33 наименования.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первый раздел «Исследования в области сложных сетей»** посвящен последним исследованиям сетей, генерации случайных сетей и их структур. Многие исследования показывают, что мотивы, играют фундаментальную роль в понимании и организации скрытых механизмов работы сложных систем. В данном разделе подчеркивается актуальность работы.

**Второй раздел «Основные понятия и определения»** содержит два подраздела, описывающих использованные в работе понятия, определения и их особенности.

**Подраздел 2.1 «Социальный граф»** содержит описание понятий «граф», «социальный граф» и других. *Граф* — упорядоченное множество, состоящее из узлов (vertices) и множества пар узлов (edges). *Социальный граф* — граф, узлами которого являются социальные объекты (например, пользовательские профили). В данном подразделе также описаны отличительные особенности социальных графов, задачи на социальных сетях и характеристики.

**Подраздел 2.2 «Сетевой мотив»** посвящен описанию необходимых терминов, связанных с понятием «мотив», и структурных и статистических способов оценки важности мотивов. *Мотив* — подграф с фиксированными ребрами на небольшом количестве узлов. Мотив можно представить с помощью пары *Размер мотива* равен количеству вершин в нём.

**Третий раздел «Модели генерации случайных графов»** разделен на пять подразделов и посвящен различным моделям генерации случайных графов. Случайный граф есть модельная сеть, в которой некоторый определенный набор параметров принимает фиксированные значения, а в остальных отношениях сеть случайная.

**Подраздел 3.1 «Модель Эрдеша-Реньи»** посвящен модели Эрдеша-Реньи (ER), ее особенностям, преимуществам и недостаткам. Модель ER — модель генерации случайных графов, которая определяется количеством вершин в графе и вероятностью появления ребра или дуги

между двумя вершинами .

**Подраздел 3.2 «Конфигурационная модель»** посвящен конфигурационной модели , которая строится на основе заданного распределения степеней .

**Подраздел 3.3 «Модель Ваттса-Строгаца»** посвящен модели Ваттса-Строгаца, ее особенностям и модификациям. Сначала создается граф, ребра которого образуют «решетку». Затем с некоторой вероятностью в ребрах случайным образом меняется одна из инцидентных вершин.

**Подраздел 3.4 «Модели безмасштабных сетей»** посвящен безмасштабным сетям и моделям, генерирующим безмасштабные сети: модели Барабаша-Альберта и модели Боллобаша-Риордана. Модель Барабаша-Альберта основана на принципе предпочтительного присоединения, а идея модели Боллобаша-Риордана заключается в построении случайного «гиперграфа», «гиперребра» которого впоследствии заменяются на небольшие графы.

**Подраздел 3.5 «Мультиплетная модель А. Вегнера»** посвящен описанию триплетной модели и ее обобщения – мультиплетной модели. В рамках ориентированной триплетной модели генерации каждую тройку вершин и ребер между ними можно охарактеризовать одним из состояний в зависимости от наличия ориентированных ребер между вершин. В триплетной модели таких неизоморфных состояний 16. Мультиплетная модель — обобщение триплетной модели для любого количества вершин.

**Четвертый раздел «Оценка качества сгенерированной сети»** содержит определения метрик оценки качества сгенерированных сетей. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена указывает, насколько сильно коррелируют два набора рангов. Дивергенция Йенсена-Шеннона — это метод измерения похожести двух распределений вероятностей, основанный на дивергенции Кульбака-Лейблера, в отличие от которой дивергенция Йенсена-Шеннона является симметричной и имеет конечное значение.

**Пятый раздел «Стек технологий»** содержит описание выбранного

стека технологий. В нем описаны библиотеки языка программирования Python: NetworkX, Dotmotif, random, itertools scipy и openpyxl — и библиотеки языка программирования C++: pybind11 и OpenMP. Также в данном разделе описаны инструменты и технологии, использованные для реализации серверной части веб-приложения: Flask, Werkzeug WSGI toolkit, движка шаблонов Jinja, Click CLI toolkit, Flask-SocketIO WebSocket и Flask-CORS — и клиентской части приложения: HTML5, CSS3, JavaScript, Fetch API, Flexbox Layout, File API и Blob API.

**Шестой раздел «Практическая часть»** содержит подробное описание этапов практической части работы в пяти подразделах.

**Подраздел 6.1 «Реализация мультиплетной модели Вегнера»** посвящен описанию программной реализации мультиплетной модели: класса, описывающего неизоморфные состояния на заданном количестве вершин MuMotif; методов и функций, генерирующих для него объекты; функции, вычисляющей метрики графов; класса, описывающего структуру графа, в котором вычисляются частоты мотивов и вероятности их появления; класса для генерации случайных графов на основе заданного; функций для оценки качества сгенерированного графа, для вычисления метрик переданного графа и для загрузки графа по указанному пути, генерации графов с помощью методов библиотеки NetworkX и анализа полученных графов.

**Подраздел 6.2 «Оценка качества модели»** содержит описание четырех выбранных реальных социальных сетей, различных по размерам и структуре, использованных для анализа полученной модели, а также результатов, полученных с помощью реализованной модели и моделей генерации случайных сетей библиотеки NetworkX. Также в данном подразделе описана реализация модуля на C++, который позволил ускорить генерацию и оценить качество на графах большего размера. В результате анализа полученных значений был сделан ряд выводов. Коэффициент корреляции Спирмена для распределений зачастую показывает более высокие

значения в случае использования мультиплетной модели. В случае наличия в исходной сети относительно тесного ядра, модели генерируют сети с менее выраженными и плотными ядрами.

**Подраздел 6.3 «Функционал приложения»** содержит описание определенного функционала веб-приложения. Пользователь может загружать граф, задавать параметры генерации, генерировать граф, выводить информацию о графах, скачивать список ориентированных ребер графов в формате .txt и скачивать всю информацию о графах в формате .json.

**Подраздел 6.4 «Реализация приложения»** посвящен описанию программной реализации веб-приложения. В подразделе сначала описывается структура приложения. Затем описывается серверная часть приложения: состоящая из модуля генерации, описанного в подразделе 6.1, и основного файла app.py, реализующего маршрутизацию и управление сессиями — и клиентская часть в трех файлах: index.html, script.js и style.css.

**Подраздел 6.5 «Обзор функционала приложения»** содержит описание клиентской части с приведением соответствующих рисунков, содержащих скриншоты реализованного приложения: стартовой страницы, блока управления загрузкой и загруженным графом, блок управления генерацией и сгенерированным графом, блок сравнения характеристик графов, блок сравнения частот мотивов и блок выбора размера мотивов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе выполнения магистерской работы были выполнены все поставленные задачи.

В теоретической части были изучены источники, посвящённые изучению сложных сетей и их генерации. Затем были подробно описаны основные понятия и определения, необходимые для исследования графов, сложных сетей и мотивов и приведен теоретический обзор различных моделей генерации сложных сетей: модель Эрдеша-Реньи, конфигурационная модель, модель Ваттса-Строгаца и модели безмасштабных сетей. На основе выполненного анализа для реализации и дальнейшего исследования была выбрана мультиплетную модель Вегнера, которая генерирует сеть на основе заданной распределения вероятностей неизоморфных состояний подграфов на заданном количестве вершин, а также реализовать веб-приложение для ее использования, а также для анализа графов. Важно отметить, что готовая программная реализация данной модели на момент написания работы не существовала.

В рамках практической части первым этапом была реализована мультиплетная модель на python с модулем на C++ с помощью pybind11. Качество реализованной модели было оценено на нескольких реальных графах в сравнении с рядом моделей, реализованных в библиотеке NetworkX. Результаты показали, что модель действительно генерирует графы со схожим распределением состояний подграфов, а также распределениями полустепеней исхода и захода вершин. Далее был определен функционал реализуемого приложения и выбран стек технологий для реализации. Серверная часть была реализована на Python с веб-фреймворком Flask, Flask-SocketIO для WebSocket-соединений и библиотеками NetworkX и dotmotif. Клиентская часть была реализована на HTML для структуры страницы, CSS для стилизации с Flexbox и Grid для адаптивного дизайна, JavaScript с Fetch API для HTTP-запросов и Socket.IO для WebSocket соединений, Font Awesome для иконок.

Полученное приложение имеет следующий функционал:

- Загрузка файла с ПК.
- Вычисление характеристик графа.
- Вычисление частот мотивов в графе.
- Генерация случайного графа на основе загруженного файла.

Результаты данной работы показали, что использование мотивов действительно помогает улучшить качество генерации социальных сетей.

**Отдельные части магистерской работы были представлены:**

- в статье в сборнике «Математические методы и модели в решении прикладных задач» ,
- на студенческой конференции факультета компьютерных наук и информационных технологий.