ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДЕНА

Решением Ученого совета
АНО ВО «Центральный университет»
«24» июня 2025 г.
Протокол №2

Рабочая программа дисциплины (модуля)
«Анализ графов»

Направление подготовки: *02.03.01 Математика и компьютерные науки*

Направленность (профиль) подготовки: *Программа двух дипломов НИУ ВШЭ и ЦУ «Прикладная математика и информатика»*

Квалификация (степень) выпускника: *бакалавр*

Форма обучения: *очная*

Срок освоения программы: *4 года*

Год набора: *2025*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 0215B0C000D1B3FEB44A37EE631E0C27D4
Владелец: Ивашкевич Евгений Васильевич
Действителен: с 13.01.2026 до 13.04.2027

Электронный документ

Москва
2025

Содержание

1. **Краткая характеристика дисциплины (модуля)** 3
2. **Перечень планируемых результатов обучения** 5
3. **Тематический план** 7
4. **Содержание дисциплины (модуля)** 7
5. **Учебно-методическое обеспечение** 9
6. **Материально-техническое обеспечение** 9
7. **Методические и оценочные материалы** 11

1. Краткая характеристика дисциплины (модуля)

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Анализ графов» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – бакалавриат по направлению 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», профиль «Программа двух дипломов НИУ ВШЭ и ЦУ «Прикладная математика и информатика», утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 807 от 23.08.2017 года.

Изучение дисциплины (модуля) «Анализ графов» является фундаментальным инструментом в математике и компьютерных науках, позволяющим эффективно решать задачи оптимизации, поиска и структурного анализа в различных областях, включая сети, алгоритмы и базы данных. Владение методами графового анализа расширяет возможности студентов в разработке современных информационных систем и научных исследований.

Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина (модуль) включена в учебный план по программе подготовки бакалавриата по направлению 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», профиль «Программа двух дипломов НИУ ВШЭ и ЦУ «Прикладная математика и информатика» и входит в вариативную часть Блока 1, формируемую участниками образовательных отношений, как дисциплина по выбору.

Дисциплина (модуль) изучается на 3 курсе в 6 семестре. Доступна к изучению после успешного освоения дисциплины (модуля) «Глубокое обучение».

Цель изучения дисциплины (модуля): освоение методов представления, исследования и моделирования структурированных данных с помощью теории графов для решения прикладных и теоретических задач.

Задачи изучения дисциплины (модуля):

— изучить основные понятия и свойства графов, включая типы графов, меры центральности и алгоритмы поиска, для понимания их роли в представлении и анализе данных в системах искусственного интеллекта;

— освоить алгоритмические методы анализа графов, такие как алгоритмы обхода, поиска кратчайших путей и кластеризации, с целью применения их в задачах машинного обучения и оптимизации;

— разработать навыки практического применения графовых моделей в областях искусственного интеллекта, включая социальные сети, рекомендательные системы и обработку больших данных, с использованием современных инструментов и технологий;

— сформировать умение оценивать эффективность графовых алгоритмов и выбирать оптимальные решения для комплексных задач, учитывая требования к вычислительной сложности и масштабируемости.

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен:

знать:

— основные понятия теории графов (типы, связность, представление) и классические алгоритмы (кратчайшие пути, остовные деревья, потоки, паросочетания);

— ключевые метрики центральности и методы выделения сообществ, их применение для анализа реальных сетей;

— структурные свойства эмпирических графов и основные генеративные модели случайных графов;

— модели распространения влияния и алгоритмы максимизации охвата;

— принципы графовых эмбеддингов и архитектуры графовых нейронных сетей (GCN, GAT, GraphSAGE);

— подходы к масштабированию GNN и библиотеки PyTorch Geometric/DGL.

уметь:

— загружать, предобрабатывать и анализировать графовые данные с использованием NetworkX, igraph, PyTorch Geometric;

— реализовывать и применять алгоритмы обхода, поиска кратчайших путей и построения минимальных остовных деревьев;

— вычислять и интерпретировать различные меры центральности, выполнять детекцию сообществ и оценивать качество разбиения;

— визуализировать графы, выявлять паттерны и аномалии;

— обучать графовые эмбеддинги (Node2Vec) и графовые нейронные сети для задач классификации узлов и предсказания связей;

— строить конвейеры анализа от сырого графа до обученной модели и представления результатов.

владеть:

— инструментарием NetworkX, igraph для алгоритмической работы с графами и анализа структуры;

— методами расчёта сетевых метрик и обнаружения сообществ в больших разреженных сетях;

— навыками обучения графовых нейронных сетей с помощью PyTorch Geometric/DGL, включая создание кастомных моделей и сэмплирование;

— техниками интерпретации эмбеддингов и предсказаний графовых моделей;

— умением применять анализ графов для решения прикладных задач в социологии, рекомендательных системах, биологии, логистике.

2. Перечень планируемых результатов обучения

Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) при проведении учебных занятий в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками Университета и в форме самостоятельной работы обучающихся:

Компетенция	Содержание компетенции	Индикатор компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1.	Знает методы поиска и анализа информации в области искусственного интеллекта, основные принципы критической оценки источников информации и их релевантности.
		УК-1.2.	Умеет критически оценивать источники информации и синтезировать данные из различных источников для решения задач, применять системный подход к анализу и решению комплексных проблем
		УК-1.3.	Имеет практический опыт работы с современными инструментами и технологиями для обработки информации, формулировании и структурировании задач на основе полученной информации
УК-2.	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1.	Знает действующие правовые нормы, регулирующие деятельность в области решения задач, основные методы и подходы к определению круга задач
		УК-2.2.	Умеет определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения задач, учитывая имеющиеся ресурсы и ограничения
		УК-2.3.	Имеет практический опыт применения знаний о правовых нормах и ресурсах в реальных ситуациях, разработки и реализации решений в соответствии с установленными ограничениями
ОПК-1.	Способен находить, формулировать и решать актуальные и значимые проблемы прикладной и компьютерной математики	ОПК-1.1.	Знает основные методы и подходы к решению задач прикладной и компьютерной математики, включая алгоритмы, математическое моделирование и теорию оптимизации, а также современные инструменты и технологии, используемые в этой области

		ОПК-1.2.	Умеет анализировать и формулировать математические задачи, применять соответствующие методы и алгоритмы для их решения, а также интерпретировать и представлять результаты в понятной и доступной форме
		ОПК-1.3.	Имеет практический опыт работы над проектами или исследованиями в области прикладной и компьютерной математики, включая участие в конкурсах, олимпиадах или научных публикациях, где были решены актуальные и значимые задачи
ПК-1.	Способен формулировать задачи с математической точностью, обосновывать утверждения строго и анализировать полученные результаты в области математики и компьютерных наук	ПК-1.1.	Знает методы и подходы к формулированию задач, а также основные принципы математического доказательства и анализа результатов.
		ПК-1.2.	Умеет корректно ставить и формулировать математические задачи, применять строгие методы доказательства и анализировать полученные результаты.
		ПК-1.3.	Имеет опыт работы с задачами в области математики и компьютерных наук, включая применение математических методов для решения практических задач
ПК-2.	Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности в области искусственного интеллекта, опираясь на информационную и библиографическую культуру, используя информационно-коммуникационные технологии и учитывая основные требования информационной безопасности	ПК-2.1.	Знает основы информационной и библиографической культуры, а также принципы информационной безопасности и применения информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности
		ПК-2.2.	Умеет эффективно использовать информационно-коммуникационные технологии для решения стандартных задач профессиональной деятельности, учитывая требования информационной безопасности
		ПК-2.3.	Имеет опыт работы с информационными ресурсами и технологиями в области искусственного интеллекта, включая соблюдение норм информационной безопасности

3. Тематический план

№п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Трудоемкость, академические часы				ТКУ (текущий контроль успеваемости)
		Очная форма				
		Аудиторная работа		Контроль	Самостоятельная работа	
		Лекции	Семинары			
1	Основы теории графов и базовые алгоритмы	4	4			Домашнее задание
2	Классические алгоритмы на графах	8	8			Домашнее задание
3	Сетевые метрики и анализ структуры	8	8			Домашнее задание
4	Масштабный анализ и динамические процессы	6	6			Домашнее задание
5	Машинное обучение на графах	4	4			Домашнее задание
	Зачёт с оценкой			2		Проект
	Итого:	***30***	***30***	***2***	***128***	
Объем дисциплины (модуля) (в ак. ч.)		***190***				
Объем дисциплины (модуля) (в зач. ед.)		***5***				

4. Содержание дисциплины (модуля)

№п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Содержание дисциплины (модуля) по темам
1	Основы теории графов и базовые алгоритмы	Определения и представление графов: ориентированные/неориентированные, взвешенные, двудольные. Способы хранения (матрица смежности, список рёбер, CSR). Работа с NetworkX и igraph. Обход и связность: BFS, DFS, компоненты связности, топологическая сортировка. Алгоритмы поиска кратчайших путей (Дейкстра, Беллман–Форд)
2	Классические алгоритмы на графах	Минимальные остовные деревья: алгоритмы Прима и Краскала. Применение для иерархической кластеризации и сегментации изображений. Потоки и разрезы: теорема Форда–Фалкерсона, алгоритм Эдмондса–Карпа. Приложение к задачам назначения и максимальному паросочетанию в двудольных графах. Сильная связность и паросочетания: алгоритмы Косарайю и Тарьяна. Введение в паросочетания общего вида и венгерский алгоритм (обзорно). Задачи маршрутизации: эйлеровы и гамильтоновы пути, задача коммивояжёра (приближённые методы). Связь с реальными логистическими задачами

3	Сетевые метрики и анализ структуры	Меры центральности: степень (degree), близость (closeness), посредничество (betweenness), собственный вектор (eigenvector), PageRank, HITS. Интерпретация и вычислительные аспекты. Обнаружение сообществ: модулярность, алгоритм Лувена, распространение меток (label propagation), спектральная кластеризация. Оценка качества разбиения. Структурные свойства реальных сетей: тесный мир, степенное распределение, коэффициент кластеризации, ассортативность. Модели случайных графов Визуализация графов: силовые и спектральные укладки, инструменты Gephi, Plotly, интерактивная визуализация на D3.js. Принципы визуальной аналитики
4	Масштабный анализ и динамические процессы	Обработка больших графов: разреженные форматы, параллельные и приближённые алгоритмы (GraphX, cuGraph). Оценка центральностей на масштабе. Модели распространения: SI, SIR, независимый каскад (Independent Cascade), линейный порог (Linear Threshold). Задача максимизации влияния и жадный алгоритм с оптимизацией CELF. Анализ временных и мультислойных графов: динамические сети, срезы, метрики изменчивости. Введение в графы знаний и мультиреляционные сети
5	Машинное обучение на графах	Графовые эмбеддинги: DeepWalk, node2vec, LINE. Методы на основе случайных блужданий. Обучение без учителя для предсказания связей Графовые нейронные сети (GNN): GCN, GraphSAGE, GAT. Классификация узлов и индуктивное обучение

5. Учебно-методическое обеспечение

Университет располагает полным набором лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, включая продукты отечественного производства.

Каждый студент в течение всего периода обучения получает индивидуальный неограниченный доступ к электронно-библиотечной системе и электронной информационно-образовательной среде университета. Эти системы предоставляют возможность доступа к ресурсам из любой точки, где есть подключение к сети Интернет, как на территории университета, так и за его пределами.

Студентам обеспечен удаленный доступ к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

Основная литература:

1. Березовская, Е. А. Теория и практика построения и применения сетей и графов : учебное пособие / Е. А. Березовская, С. В. Крюков ; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2023. - 115 с. - ISBN 978-5-9275-4427-1. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2135849.

2. Курейчик, В. М. Учебное пособие по курсу «Дискретная математика». Раздел «Теория графов» : учебное пособие / В. М. Курейчик, В. В. Курейчик, Е. Р. Мунтян ; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. - 164 с. - ISBN 978-5-9275-4257-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2039100.

Дополнительная литература:

1. Захаров, Д. Д. Введение в теорию графов : учебно-методическое пособие к практическим занятиям по математике / Д. Д. Захаров. - Москва : РУТ (МИИТ), 2018. - 49 с. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1896868.

6. Материально-техническое обеспечение

Университет располагает материально-технической базой, соответствующей действующим противопожарным правилам и нормам и обеспечивающей проведение всех видов дисциплинарной и междисциплинарной подготовки, практической и научно-исследовательской работ обучающихся, предусмотренных учебным планом.

Помещения, которые представляют собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского (практического) типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Изучение дисциплины (модуля) обеспечивается в учебных аудиториях, оснащенных:

- столами и стульями;
- компьютерной техникой;
- механическими калькуляторами;
- специализированным оборудованием, включая демонстрационное оборудование.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, в том числе приспособленные для использования инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья, оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Обучающимся предоставляется доступ (в том числе удаленный) к ресурсам информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», электронным ресурсам (в том числе электронным библиотечным системам, современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам):

№	Наименование портала (издания, курса, документа)	Ссылка
1.	Научная электронная библиотека elibrary.ru библиотека	https://elibrary.ru/defaultx.asp
2.	База данных для IT-специалистов	https://habr.com
3.	База данных ScienceDirect	https://www.sciencedirect.com
4.	Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации	https://minobrnauki.gov.ru/
5.	Федеральный портал «Российское образование"	https://www.edu.ru/
6.	Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"	http://window.edu.ru/
7.	Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов	http://school-collection.edu.ru/
8.	Федеральный центр информационно - образовательных ресурсов	http://fcior.edu.ru/

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), в том числе комплект лицензионного программного обеспечения, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Наименование ПО	Производство	Лицензионное / свободно распространяемое
Операционные системы:		
Microsoft Imagine (Windows Client, Server)	зарубежное	лицензионное
Браузеры:		
Яндекс.Браузер	отечественное	свободно распространяемое
Google Chrome	зарубежное	свободно распространяемое
Офисные приложения:		
Microsoft Imagine (Visio, OneNote)	зарубежное	лицензионное
TeXstudio	зарубежное	свободно распространяемое
Adobe Acrobat Reader	зарубежное	свободно распространяемое
Программное обеспечение для планирования и учета времени:		
Toggle app	зарубежное	свободно распространяемое
Системы управления проектами:		
Microsoft Imagine (Project)	зарубежное	лицензионное
Системы управления базами данных:		
Microsoft Imagine (SQL Server)	зарубежное	лицензионное
Системы резервного копирования (backup):		
Acronis Backup Advanced for HyperV	зарубежное	лицензионное
Справочно-правовые системы:		
КонсультантПлюс: справочно-правовая система	отечественное	лицензионное
Средства антивирусной защиты:		
Kaspersky Endpoint Security для бизнеса Стандартный Russian Edition	отечественное	лицензионное
Среды разработки:		
Visual Studio Code	зарубежное	свободно распространяемое
Bash (Unix shell)	зарубежное	свободно распространяемое

Anaconda	зарубежное	свободно распространяемое
Robotic Operating System	зарубежное	свободно распространяемое
CopelliaSim	зарубежное	свободно распространяемое
Google Colaboratory	зарубежное	свободно распространяемое
Пакеты программных средств и библиотек:		
AutoPsy	зарубежное	свободно распространяемое
Interactive Disassembler (IDA)	зарубежное	свободно распространяемое
Системы управления библиографической информацией:		
Zotero	зарубежное	свободно распространяемое
Сервисы и службы:		
Bind	зарубежное	свободно распространяемое
Docker	зарубежное	свободно распространяемое

7. Методические и оценочные материалы

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

В процессе изучения дисциплины (модуля) «Анализ графов» в рамках текущего контроля успеваемости используются такие виды учебной работы, как лекции, семинары, домашние задания, проект, а также различные виды самостоятельной работы обучающихся по заданию преподавателя, направленные на развитие навыков профессиональной лексики, закрепление практических профессиональных компетенций, поощрение инициатив.

Лекция – систематическое, последовательное, монологическое изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера.

В процессе лекций рекомендуется вести конспект лекций: кратко и схематично фиксировать основные идеи, выводы и обобщения лекции; выделять важные мысли, ключевые слова и термины. Необходимо отметить вопросы или материалы, которые вызывают затруднения, и попытаться найти ответы в рекомендованной литературе. Если разобраться в материале не удается, следует сформулировать вопрос и задать его преподавателю на консультации или во время семинарского (практического) занятия.

Семинар – это форма учебной деятельности, проводимая в учебном заведении под руководством преподавателя, где студенты активно участвуют в обсуждениях, практических заданиях и других формах взаимодействия.

Для успешной подготовки к семинару рекомендуется заранее ознакомиться с темой занятия и основными материалами, чтобы иметь возможность активно участвовать в обсуждении. Также полезно подготовить вопросы и идеи для обсуждения, что поможет глубже понять материал и продемонстрировать заинтересованность.

Домашнее задание – набор задач по темам недели.

При работе над домашними заданиями важно внимательно ознакомиться с требованиями и сроками выполнения. Рекомендуется разбивать задания на этапы, чтобы избежать перегрузки и лучше усвоить материал. Использовать различные источники информации, включая учебники и онлайн-ресурсы, для более глубокого понимания темы.

Проект – исследовательская работа по дисциплине (модулю) и презентация результатов.

Для успешной подготовки к проекту рекомендуется: четко определить цели и задачи проекта; составить план работы, разбив проект на этапы с указанием сроков выполнения каждого из них; использовать разнообразные источники информации и инструменты для исследования темы; регулярно проверять прогресс и вносить коррективы в план, если это необходимо.

Самостоятельная работа – работа студентов, направленная на углубленное изучение отдельных тем и вопросов учебной дисциплины (модуля).

В процессе самостоятельной работы студенты взаимодействуют с рекомендованными материалами при минимальном участии преподавателя. Задачи студента включают работу с конспектами лекций (обработка текста), повторное изучение учебных материалов планов и тезисов ответов, изучение дополнительных тем, выполнение учебно-исследовательских заданий и другое.

Система оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

Критерии получения уровня и оценивания сформированности компетенций по дисциплине (модулю) «Анализ графов»

Оценивание уровня учебных достижений, обучающихся по дисциплине (модулю), осуществляется в виде текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) осуществляется в форме ***зачёта с оценкой***, при этом проводится оценка компетенций, сформированных по дисциплине.

Для оценивания текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации используется десятибалльная шкала оценивания, которая соотносится с традиционной пятибалльной шкалой следующим образом, если иное не указано в силлабусе дисциплины:

Десятибалльная оценка	**Пятибалльная оценка**	**Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)**
10	Отлично	Студент полностью владеет знаниями, изложенными в рабочей программе, и глубоко осмысляет дисциплину. Он самостоятельно и логически последовательно отвечает на все вопросы, акцентируя внимание на наиболее важном. Умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделяя ключевые моменты и устанавливая причинно-следственные связи. Четко формулирует ответы, уверенно интерпретирует результаты анализов и других исследований, а также решает сложные задачи. Студент хорошо знаком с методами исследования, необходимыми для практической деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты дисциплины (модуля) с практическими задачами.
9	Отлично	
8	Отлично	
7	Хорошо	Студент обладает знаниями предмета почти в полном объеме рабочей программы и самостоятельно, логически последовательно и всесторонне отвечает на все вопросы, акцентируя внимание на наиболее значимых моментах. Он умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделяя его ключевые аспекты и устанавливая причинно-следственные связи. Формулирует свои ответы, уверенно интерпретирует результаты анализов и других исследований, а также решает сложные ситуационные задачи. Студент хорошо знаком с методами исследования, необходимыми для практической
6	Хорошо	

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
		деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты предмета с практическими задачами.
5	Удовлетворительно	Студент обладает базовыми знаниями по дисциплине (модулю), но испытывает трудности при самостоятельных ответах и использует неточные формулировки. В ходе ответов он допускает ошибки, касающиеся сути вопросов. Студент способен решать только самые простые задачи и владеет лишь минимальным набором методов исследования.
4	Удовлетворительно	
3	Не сдан	Студент не овладел обязательным минимумом знаний по предмету и не может ответить на вопросы, даже если преподаватель задает дополнительные наводящие вопросы.
2	Не сдан	
1	Не сдан	

Дисциплина (модуль) «Анализ графов» оценивается следующим образом:

Активность	Вес	Количество	Описание
Домашние задания	40%	13	Набор задач по темам недели
Проект	30%	1	Исследовательская работа по дисциплине (модулю) и презентация результатов
Зачёт с оценкой	30%	1	Письменная или устная работа над заданием, направленным на проверку полученных знаний и навыков по дисциплине (модулю)

Формула расчёта итоговой оценки по дисциплине (модулю) «Анализ графов»: «0,4 × среднее за домашние задания + 0,3 × проект + 0,3 × зачёт с оценкой».

Текущий контроль успеваемости обучающихся по дисциплине (модулю)

Примерные домашние задания

Домашнее задание 1.

1. Опишите различия между ориентированным и неориентированным графом, приведите примеры их применения в реальных системах;

2. Реализуйте представление графа в виде матрицы смежности и списка смежности, сравните их по памяти и эффективности для разреженных графов;

3. Реализуйте алгоритмы BFS и DFS на выбранном графе, сравните их поведение при поиске кратчайшего пути и обходе компонент связности;

4. Выполните топологическую сортировку для заданного ориентированного ациклического графа и объясните её применение в планировании задач;

5. Примените алгоритм Дейкстры для поиска кратчайших путей от одной вершины до всех остальных и проанализируйте его работу на взвешенном графе.

Домашнее задание 2.

1. Реализуйте алгоритм Краскала для построения минимального остовного дерева и примените его к графу, моделирующему дорожную сеть;

2. Сравните алгоритмы Прима и Краскала по сложности и применимости в различных типах графов;

3. Решите задачу о максимальном потоке с помощью алгоритма Эдмондса–Карпа и интерпретируйте результат в контексте распределения ресурсов;

4. Примените венгерский алгоритм (или его библиотечную реализацию) для решения задачи оптимального назначения в двудольном графе;

5. Оцените сложность нахождения гамильтонова цикла и реализуйте приближённый алгоритм для задачи коммивояжёра (TSP) на основе жадного подхода или ближайшего соседа.

Домашнее задание 3.

1. Вычислите степени, близость, посредничество и PageRank для узлов в выбранном графе и сравните результаты по их интерпретации;

2. Примените алгоритм Лувена для выделения сообществ и оцените качество разбиения с помощью модулярности;

3. Реализуйте спектральную кластеризацию на графе и сравните её с label propagation по скорости и устойчивости к шуму;

4. Проанализируйте реальный граф на наличие свойств "тесного мира" и степенного распределения степеней;

5. Визуализируйте граф с помощью силовой укладки (force-directed layout) в Gephi или Plotly, выделите центральные узлы и сообщества.

Примерное описание задания и критерии оценивания к проекту

Цель проекта: разработать и протестировать комплексную систему анализа графовых данных, демонстрирующую применение классических алгоритмов, метрик центральности, выявления сообществ, моделирования динамических процессов и методов машинного обучения на графах для решения прикладной задачи.

Задачи проекта:

— Выбрать или построить реальный, или синтетический граф (например, социальная сеть, транспортная сеть, граф цитирований) и представить его в подходящем формате (матрица смежности, CSR, список рёбер) с использованием библиотек NetworkX или igraph;

— Реализовать анализ структуры графа: вычислить ключевые метрики центральности (степень, посредничество, PageRank), выделить центральные узлы и проанализировать их роль в сети;

— Применить алгоритмы обнаружения сообществ (например, Лувена, label propagation или спектральную кластеризацию) и оценить качество разбиения с помощью модулярности и других метрик;

— Провести анализ динамического или мультислойного графа (по выбору): выделить изменения структуры во времени, оценить устойчивость сообществ и визуализировать эволюцию сети;

— Реализовать моделирование процесса распространения влияния (например, Independent Cascade или SIR) и решить задачу максимизации охвата с помощью жадного алгоритма с оптимизацией CELF;

— Обучить графовые эмбеддинги (например, node2vec или DeepWalk) и применить их для задачи предсказания связей или классификации узлов;

— Построить и обучить графовую нейронную сеть (GNN) с использованием GCN, GraphSAGE или GAT для задачи классификации узлов или предсказания рёбер;

— Подготовить отчёт и презентацию, включающие визуализацию графа, интерпретацию результатов, сравнение методов и обсуждение применимости решений в реальных сценариях (социология, логистика, биоинформатика, рекомендательные системы).

Критерии оценивания проекта:

— Соответствие проекта изученным темам: применение базовых и продвинутых алгоритмов на графах, использование метрик, методов выявления сообществ и моделей машинного обучения;

— Глубина анализа: наличие комплексной обработки графа — от структурного анализа до динамического моделирования и GNN;

— Качество визуализации и интерпретации: наглядное представление структуры, центральностей, сообществ и динамики с помощью инструментов (Gephi, Plotly, D3.js);

— Обоснованность выбора и успешность применения методов машинного обучения на графах: корректность реализации эмбеддингов и GNN, качество предсказаний;

— Полнота отчёта и презентации: логичная структура, визуализация ключевых этапов, обоснованные выводы и обсуждение ограничений, возможностей sim-to-real переноса (в контексте прикладной задачи).

Задания для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

№ п/п	Задание	Ответ	Компетенция
1	Укажите основное понятие, определяющее структуру данных с вершинами и рёбрами.	граф	УК-1
2	Назовите инструмент для анализа социальных сетей на основе графов.	NetworkX	УК-1
3	Укажите метод критической оценки источников информации о сложных сетях.	анализ релевантности	УК-1
4	Назовите подход к синтезу данных из различных графовых моделей.	интеграция моделей	УК-1
5	Укажите правовую норму, регулирующую обработку данных в графовых анализах.	GDPR	УК-2
6	Назовите способ определения задач в рамках анализа графов с учётом ресурсов.	оптимизация вычислений	УК-2
7	Укажите опыт применения знаний о ресурсах в проектах по графам.	практические проекты	УК-2
8	Назовите метод выбора алгоритма для решения задач на графах.	сравнение эффективности	УК-2
9	Укажите основной алгоритм для поиска кратчайшего пути в графе.	Дейкстра	ОПК-1
10	Назовите меру центральности вершины в графе.	степень	ОПК-1
11	Укажите опыт работы над математическими моделями графов.	научные исследования	ОПК-1
12	Назовите подход к интерпретации результатов графовых алгоритмов.	визуализация	ОПК-1
13	Укажите ключевую закономерность в представлении графов.	эмбеддинги	ПК-1
14	Назовите теоретическую концепцию графовых нейронных сетей.	графовая свёртка	ПК-1
15	Укажите опыт выявления закономерностей в графовых данных.	анализ сообществ	ПК-1
16	Назовите метод систематического анализа области графового машинного обучения.	кластеризация	ПК-1
17	Укажите принцип информационной безопасности при работе с графовыми данными.	анонимизация	ПК-2
18	Назовите технологию для обработки динамических графов.	PyTorch Geometric	ПК-2

19	Укажите опыт соблюдения норм безопасности в проектах по графам.	аудит данных	ПК-2
20	Назовите способ эффективного использования ИКТ для анализа графов.	облачные платформы	ПК-2