ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**УТВЕРЖДЕНА**

Решением Ученого совета
АНО ВО «Центральный университет»
«07» марта 2024 г.
Протокол №1

**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:** *2024*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

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

Электронный документ

**Москва**
**2024**

**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.<br>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.<br>Сильная связность и паросочетания: алгоритмы Косарайю и Тарьяна. Введение в паросочетания общего вида и венгерский алгоритм (обзорно).<br>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.<br>Обнаружение сообществ: модулярность, алгоритм Лувена, распространение меток (label propagation), спектральная кластеризация. Оценка качества разбиения.<br>Структурные свойства реальных сетей: тесный мир, степенное распределение, коэффициент кластеризации, ассортативность. Модели случайных графов<br>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.<br>Модели распространения: SI, SIR, независимый каскад (Independent Cascade), линейный порог (Linear Threshold). Задача максимизации влияния и жадный алгоритм с оптимизацией CELF.<br>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<br>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 |