Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования

«ФИНАНСОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

(Финансовый университет)

Кафедра искусственного интеллекта

Факультет информационных технологий и анализа больших данных

Документ подписан усиленной неквалифицированной электронной подписью
Организация: Финансовый университет при Правительстве РФ
Утвержено: Проректор по учебной и методической работе Е.А. Каменева
Сертификат: /oXDbaplk0OwRdvgZWfaPLJspEti3F/q
Дата: 23.09.2025 г.

С. В. Макрушин, В. А. Бартева

Машинное обучение на графах

Рабочая программа дисциплины

для студентов, обучающихся по направлению подготовки
01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность программы магистратуры
Инженер машинного обучения

Рекомендовано
Факультет информационных технологий и анализа больших данных
(протокол №2 от 18.11.2025)

Одобрено
Кафедра искусственного интеллекта
(протокол №3 от 05.11.2025)

Москва 2025

Содержание

Наименование разделов РПД		**Стр.**
1.	Наименование дисциплины	5
2.	Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы (перечень компетенций) с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине	5
3.	Место дисциплины в структуре образовательной программы	6
4.	Объем дисциплины(модуля) в зачетных единицах и в академических часах с выделением объема аудиторной (лекции, семинары) и самостоятельной работы обучающихся	7
5.	Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) дисциплины с указанием их объемов (в академических часах) и видов учебных занятий	7
5.1.	Содержание дисциплины	7
5.2.	Учебно-тематический план	10
5.3.	Содержание семинаров, практических занятий	11
6.	Перечень учебно-методического обеспечения для	13

	самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
6.1.	Перечень вопросов, отводимых на самостоятельное освоение дисциплины, формы внеаудиторной самостоятельной работы	13
6.2.	Перечень вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю	14
7.	Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине	16
8.	Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	22
9.	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины	23
10.	Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	24
11.	Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных	26

	справочных систем	
12.	Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине	26

1. Наименование дисциплины

«Машинное обучение на графах».

2. Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы (перечень компетенций) с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине

Код компетенции	**Наименование компетенции**	**Индикатор достижения компетенции**	**Результаты обучения**
ПК-3	Способность разрабатывать прикладные решения с использованием методов анализа текстов, графов и сетевых структур	Использовать основные модели и методы обработки текстов на естественных языках, графов и семантических структур	**Знать:** основные теоретические основы машинного обучения на графах: виды графовых моделей, алгоритмы обхода графа, подходы к представлению данных и структуре связей **Уметь:** применять алгоритмы машинного обучения на графах для анализа сложных взаимосвязанных данных: кластеризация вершин, выявление сообществ, ранжирование узлов, обнаружение аномалий
		Решать с	**Знать:**

		помощью прикладных моделей NLP, графовой и сетевой аналитики прикладных задач предметной области	современные методы и модели обработки текста на основе графов: построение семантических сетей, создание графов зависимостей предложений, применение технологий извлечения сущностей и отношений для построения реляционных баз данных **Уметь:** разрабатывать практические приложения и сервисы, использующие обработку естественного языка совместно с методами анализа графов и сетевых структур для задач классификации документов, выявления тематик, формирования рекомендаций и принятия решений

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Машинное обучение на графах» относится к «Модулю дисциплин по выбору, углубляющих освоение программы магистратуры»

4. Объем дисциплины(модуля) в зачетных единицах и в академических часах с выделением объема аудиторной (лекции, семинары) и самостоятельной работы обучающихся

Очная форма обучения

Вид учебной работы по дисциплине	**Всего (в з/е и часах)**	**Модуль 5 (в часах)**
Общая трудоемкость дисциплины	**3/108**	**108**
Контактная работа - Аудиторные занятия	**32**	**32**
Лекции	8	8
Семинары, практические занятия	24	24
Самостоятельная работа	76	76
Вид текущего контроля	Контрольная работа;	Контрольная работа
Вид промежуточной аттестации	Зачет;	Зачет

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) дисциплины с указанием их объемов (в академических часах) и видов учебных занятий

5.1. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение в сетевые модели.

Соотнесения понятий теории графов и теории сложных сетей, базовые понятия теории сложных сетей. Технологический стек работы с сетевыми моделями, построенный на базе языка программирования Python и библиотеки NetworkX .

Локальные и интегральные свойства в сетях, метрики сетей: путь (кротчайший путь), связность сети, связные компоненты сети,

средняя длина пути в сети, диметр сети; коэффициент кластеризации для узла и средний коэффициент кластеризации в сети; степени узлов сети, функция распределения степеней узлов сети.

Понятие центральности узлов в сети. Модельные графы для сравнения различных метрик центральности. Центральность по степени (degree centrality), центральность по близости (closeness centrality), центральность по посредничеству (betweenness centrality), центральность по собственному вектору (eigenvector centrality).

Описания классических моделей образования реальных сетей: случайная сеть Эрдеша-Реньи (Erdős–Rényi model), предпочтительное присоединение Барбаши-Альберта (Barabási-Albert model), геометрические и пространственно-распределённые сети (geometric networks). Разбор особенностей каждого типа сетей и условий применимости моделей.

Динамические процессы в сетях — распространение информации/инфекции, каскадные отказы, устойчивость к атакам и сбоям. Методы анализа устойчивости сетей и исследования критичности структуры сети. Основные методы моделирования распространения процессов на примере эпидемиологических моделей (SIR/SIS).

Методы выявления сообществ (community detection methods) внутри сети: спектральное разбиение, алгоритмы Girvan-Newman, Louvain, Infomap. Понятие модуля (modularity) и оценка качества разделения сети на сообщества. Примеры практического применения коммунитарного анализа в социальных и технологических системах.

Специфичные типы сетей, такие как бипартитные (bipartite graphs) и гиперграфы (hypergraphs). Особенности представления взаимодействий между различными группами объектов. Применение бипартитных сетей для анализа отношений пользователей и товаров, научных публикаций и авторов, компаний и продуктов.

Особенности временных сетей (temporal networks), включая изменения топологии во времени и эволюционные аспекты. Представление множественных связей между узлами (multi-edge

networks). Практическое применение таких подходов в анализе коммуникаций, транспортных потоков и динамики социальных контактов.

Тема 2. Случайные блуждания на графах, метод распространения меток.

Случайное блуждение в сети.

Алгоритм page rank: принцип алгоритма, ограничения на структуру графа для существования решения. Взгляд на задачу с позиции случайного блуждания на графе. Снятие ограничений на сеть для применения Pagerank.

Метод распространения меток

Задача классификации узлов. Обучение с частичным привлечением учителя. Расстановка меток на основе случайного блуждания. Процесс случайного блуждания с ловушками. Алгоритмы расстановки меток с использованием случайного блуждания.

Обобщённый PageRank и персонализированный PageRank (Personalized PageRank); Варианты модификации классического Random Walk путём добавления механизма перезагрузки процесса («random walk with restart»); Регуляризация и стабилизаторы в PageRank; Параллельные реализации алгоритмов случайных блужданий; Методы обнаружения аномалий на основе случайных блужданий; Оценка надёжности результатов случайных блужданий; Оптимизационные задачи и задача назначения приоритетов; Проблема масштабируемости и вычислительной сложности.

Тема 3. Векторное представление (эмбеддинг) графов.

Мотивация для построения эмбеддинга. Векторное представление слов. Дистрибутивная гипотеза. Матрица совместной встречаемости. Представление слов в виде векторов малой размерности. Сингулярное разложение (Singular Value Decomposition, SVD). Алгоритм word2vec. Модели CBOW и Skip-Gram.

Проблематика графов как объектов для эмбеддинга. Постановка задачи эмбеддинга. Определение меры схожести узлов. Неглубокие методы эмбеддинга.

Подход к эмбеддингу узлов на основе случайного блуждания. Оптимизационная задача построения эмбеддингов на основе случайного блуждания. Использование негативного семплирования. Общий алгоритм node2vec.

Эмбеддинги рёбер и подграфов; Многоуровневые эмбеддинги (Hierarchical Embeddings); Трансформационные методы обучения эмбеддингов; Использование энкодеров-декодеров для эмбеддингов; DeepWalk, LINE, SDNE и другие современные техники эмбеддинга; Генеративные эмбеддинги (Generative embeddings); Комбинированные подходы с использованием атрибуций узлов и рёбер; Обзор областей применения графовых эмбеддингов

Тема 4. Графовые нейронные сети.

Введение в графовые нейронные сети. Общая схема построения графовых нейронных сетей без учителя. Задача semi-supervised learning.

Фреймворк Message Passing Neural Networks (MPNN). Фрэймворк GCN (сверточные нейронные сети для решеток и графов). Спектральные модели GNN.

Общая схема конвейера для построения модели GNN (графовой нейронной сети). Типология моделей распространения GNN.

Графовые рекуррентные нейронные сети (GRNN); Самонастраиваемые графовые нейронные сети; Агрегация сообщений (Message Aggregation); Разреженность и эффективная обработка крупных графов; Индуктивные и транспозитивные GNN; Иерархическая агрегация и многоуровневость; Кластеризация и community-aware GNN; Автоматизированное обнаружение закономерностей (Pattern Discovery); Распределенное обучение GNN.

5.2. Учебно-тематический план

Очная форма обучения

№ п/п	Наименование тем(разделов)	Трудоемкость в часах				
		Всего	Контактная работа - Аудиторная работа			Самостоятельная работа
			Общая, в	Лекции	Семина	

	дисциплины		т.ч.:		ры, практические занятия	
1	Введение в сетевые модели.	27	8	2	6	19
2	Случайные блуждания на графах, метод распространения меток.	27	8	2	6	19
3	Векторное представление (эмбеддинг) графов.	27	8	2	6	19
4	Графовые нейронные сети.	27	8	2	6	19
	Итого	108	32	8	24	76

5.3. Содержание семинаров, практических занятий

Наименование тем (разделов) дисциплины	**Перечень вопросов для обсуждения на семинарах, практических занятиях**	**Формы проведения занятий**
Введение в сетевые модели.	Локальные и интегральные свойства в сетях, метрики сетей, модели формирования случайных сетей, анализ распределения степеней узлов. Понятие центральности узлов в сети и различные	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 студента) и коллективное обсуждение решений.

	метрики центральности. Алгоритм PageRank и родственные алгоритмы. Решение задач поиска значений метрик центральности для центральности по степени (degree centrality), центральности по близости (closeness centrality), центральности по посредничеству (betweenness centrality), центральности по собственному вектору (eigenvector centrality).	
Случайные блуждания на графах, метод распространения меток.	Решение задач на использования метода PageRank, визуализация результатов. Расстановка меток на графе на основе случайного блуждания. Применение алгоритма расстановки меток с использованием случайного блуждания.	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 студента) и коллективное обсуждение решений.
Векторное представление (эмбеддинг) графов.	Построение эмбеддинга узлов сети с помощью метода node2vec.	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 студента) и коллективное обсуждение решений.
Графовые нейронные сети.	Решение задач кластеризации узлов сети с помощью нескольких	Интерактивная форма, Практикум по решению задач по тематике занятия в

	алгоритмов графовых нейронных сетей.	малых группах (2-4 студента) и коллективное обсуждение решений.

6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Перечень вопросов, отводимых на самостоятельное освоение дисциплины, формы внеаудиторной самостоятельной работы

Наименование тем (разделов) дисциплины	Перечень вопросов, отводимых на самостоятельное освоение	Формы внеаудиторной самостоятельной работы
Введение в сетевые модели.	Решения задач определения степеней узлов сети, построения функции распределения степеней узлов сети и визуализации этого распределения. Решение задач по применению алгоритма PageRank для реальных и сгенерированных сетей.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Случайные блуждания на графах, метод распространения меток.	Реализация метода PageRank. Проверка результатов его работы. Решение задач на применение процесса случайного блуждания с ловушками.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Векторное представление (эмбеддинг) графов.	Построение эмбеддинга узлов сети с дополнительными признаками.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Графовые нейронные	Решение задач	Работа с учебной

сети.	кластеризации узлов сети с дополнительными признаками с помощью нескольких алгоритмов графовых нейронных сетей.	литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.

6.2. Перечень вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примерные вопросы контрольной работы

1. Какие виды активационных функций применяются в искусственных нейронных сетях?

2. Приведите алгоритм построения геометрического графа.

3. Опишите механизм обратного распространения ошибки и принцип обучения глубоких ИНС с его помощью.

4. Какая из метрик центральности сети является локальной?

5. Центральность по степени. Определения, основные свойства, примеры.

6. Модель Барабаши-Альберта. Распределения степеней узлов в модели.

7. Модель случайного роста сети. Распределения степеней узлов в модели.

8. Эксперимент Мильграма. Феномен тесного мира. Сильные и слабые связи в сетях.

9. Проблема локальной навигации в сетях. Алгоритм близорукого поиска. Проблема поиска короткого пути в случайном графе и модели Клейнберга.

10. Алгоритм PageRank: базовый принцип и полный алгоритм. Снятие ограничений базового принцип.

11. Что такое loss-функция и зачем она используется в обучении искусственной нейронной сети.

12. Объясните понятие активации ReLU и ее преимущества перед сигмоидой и тангенсом-гиперболическим (Tanh)?

13. Какой алгоритм применяется для тренировки графа методом наименьших квадратов? Опишите суть метода.

14. Чем отличаются ансамблевые методы в глубоком обучении и почему они эффективны?

15. Что такое трансферное обучение и как оно применяется в области графовых нейронных сетей?

Примерные задания контрольной работы

1. Визуализируйте сеть с корректной привязкой узлов к координатам рисунка с помощью библиотеки NetworkX.

2. Постройте точечный график плотности распределения степеней узлов в обычной системе координат.

3. Постройте точечный график плотности распределения степеней узлов в полу-логарифмической (логарифмической только по вертикальной оси) системе координат.

4. Постройте (точечный) график плотности распределения степеней узлов в логарифмической (по 2м осям) системе координат.

5. Постройте сеть по модели Барабаши-Альберта и определите эмпирическое распределение степеней узлов сети.

6. Постройте сложную сеть по случайному закону роста сети и определите эмпирическое распределение степеней узлов сети.

7. Постройте самоподобную сложную сеть и выполните анализ ассортативности узлов сети с помощью диаграмм.

8. Постройте сложную сеть по модели Ваттса-Строгатца и выполните анализ кластеризации, диаметра и средней длины пути в сети.

9. Выполните разбиение сложной сети на сообщества с помощью алгоритма Гирвана-Ньюмена.

10. Выполните разбиение сложной сети на сообщества с помощью Лувенского алгоритма на основе меры модулярности.

11. Выполнить анализ центральных узлов сети: рассчитайте центральность по степени, близости и посредничеству всех узлов сети, постройте гистограмму значений центральности по степени.

12. Определить слабосвязанные компоненты сети: разбейте сеть на слабо связанные компоненты, найдите наибольшую компоненту и сравните её характеристики с остальными компонентами.

13. Проверьте наличие малых миров в сети: измерьте среднюю длину пути и диаметр сети, проверьте выполнение условия малого мира (малый диаметр и высокая кластеризация).

14. Оцените устойчивость сети к удалениям узлов: постепенно удаляйте наиболее центральные узлы (например, по величине центральности по посредничеству) и оценивайте изменение основных характеристик сети (средняя длина пути, диаметр, число компонентов).

15. Исследуйте динамику случайного блуждания по сети: запустите случайное блуждание по сети, отслеживая частоту посещения узлов и проанализируйте связь посещений с центральностью узлов.

Критерии балльной оценки различных форм текущего контроля успеваемости содержатся в соответствующих методических рекомендациях Кафедры искусственного интеллекта Факультета информационных технологий и анализа больших данных.

7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения в процессе освоения образовательной программы содержится в разделе 2. *Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы (перечень компетенций) с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине.*

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки индикаторов достижения компетенций, умений и знаний

ПК-3 Способность разрабатывать прикладные решения с использованием методов анализа текстов, графов и сетевых структур

1) Использовать основные модели и методы обработки текстов на естественных языках, графов и семантических структур

Результаты обучения (умения и знания), соотнесенные с индикаторами достижения компетенции

Знать: основные теоретические основы машинного обучения на графах: виды графовых моделей, алгоритмы обхода графа, подходы к представлению данных и структуре связей

Уметь: применять алгоритмы машинного обучения на графах для анализа сложных взаимосвязанных данных: кластеризация вершин, выявление сообществ, ранжирование узлов, обнаружение аномалий

Типовые контрольные задания

Имеется граф дружбы в социальной сети, содержащий атрибуты узлов (возраст, город проживания, род деятельности) и рёбра (вес дружба: сила связи). Необходимо провести проверку качества данных: a) Найдите пустые и дублированные записи среди атрибутов узлов. b) Проверьте наличие разрывов в временной последовательности атрибутов. c) Оцените разреженность графа и предложите способы уплотнения данных.

2) Решать с помощью прикладных моделей NLP, графовой и сетевой аналитики прикладных задач предметной области

Результаты обучения (умения и знания), соотнесенные с индикаторами достижения компетенции

Знать: современные методы и модели обработки текста на основе графов: построение семантических сетей, создание графов зависимостей предложений, применение технологий извлечения сущностей и отношений для построения реляционных баз данных

Уметь: разрабатывать практические приложения и сервисы, использующие обработку естественного языка совместно с методами анализа графов и сетевых структур для задач классификации документов, выявления тематик, формирования рекомендаций и принятия решений

Типовые контрольные задания

Перед вами граф транспортных маршрутов страны. Узлы — это населенные пункты, рёбра — маршруты между ними, имеющие вес, соответствующий продолжительности путешествия. Существуют пропуски в маршрутах, а также резко выделяющиеся значения длительности поездок, очевидно содержащие ошибки. Ваша цель: a) Заполните пропуски длительности маршрута рациональным способом. Обоснуйте выбор метода. b) Обнаружьте и исправьте аномальные значения длительности путешествий. Объясните свою стратегию. c) Используйте Log Transformation для нормализации длительности маршрутов и объясните вашу идею.

Примеры практико-ориентированных заданий

Задание 1. Вам дано транспортное дорожное покрытие района, представленное графом, где узлы — перекрестки улиц, а рёбра — дороги между ними. Постройте граф с использованием библиотеки NetworkX, подчеркнув ширину рёбер (дорог) различной толщиной линий, соответствующую загруженности трафика. Отдельно выделите главные транспортные артерии другим цветом.

Задание 2. Дан социальный граф сотрудников компании, где узлы — сотрудники, а рёбра — деловые контакты между ними. Необходимо: a) Визуализировать граф с помощью инструмента Graphviz, расставив сотрудников равномерно и показывая их должности и подразделения. b) Использовать цветовую маркировку для обозначения отделов компании и размеров узлов для визуализации занимаемых должностей.

Задание 3. Рассмотрим граф цитирований научных статей, где узлы — публикации, а рёбра — ссылки одной статьи на другую. Покажите: a) Visualize the graph using Matplotlib or Seaborn, color-coding articles by publication year.b) Выделите крупные центры цитирования (важные статьи), используя больший размер узлов.

Задание 4. Вашему вниманию предлагается сетевой граф потребителей электроэнергии, где узлы — потребители, а рёбра — энергетические потоки между соседними узлами. Сделайте следующее: a) Постройте тепловой график (heatmap) потребления энергии по временным интервалам с использованием Seaborn. b)

Затем добавьте interactive визуализацию, чтобы пользователи могли изучать потребление отдельного потребителя подробнее.

Задание 5. Перед вами сложный граф сотрудничества исполнителей музыкальных коллективов, где узлы — исполнители, а рёбра — совместно созданные композиции. Решите следующие задачи: a) Создайте visual representation с использованием библиотеки Plotly, позволяя пользователям кликнуть на исполнителя и увидеть, с кем он сотрудничал. b) Постройте дополнительное представление data matrix, которое покажет относительную силу сотрудничества (частота совместных композиций) между артистами.

Примерные вопросы для подготовки к Зачету

1. Способы представления сети (графа) в памяти. Типизация сетей. Модель данных property graph.

2. Основные метрики сетей: средняя степень узлов, коэффициенты кластеризации. Метрики сети, основанные на путях.

3. Степенной закон распределения степеней узлов. Свойство безмасштабности. Степенной закон распределения степеней узлов для реальных сетей.

4. Степенной закон распределения степеней узлов. Проблематика визуализации хвоста распределения и подходы к решению проблемы. Корректный способ эмпирического определения параметров распределения.

5. Степенной закон распределения степеней узлов. Проблема эмперической идентификации математического ожидания и дисперсии распределения. Корректный способ эмпирического определения параметров распределения.

6. Модель Барабаши-Альберта. Распределения степеней узлов в модели.

7. Модель случайного роста сети. Распределения степеней узлов в модели.

8. Эксперимент Мильграма. Феномен тесного мира. Сильные и слабые связи в сетях.

9. Модель тесного мира Уотса-Стргатса. Динамика кластеризации и средней длины пути.

10. Проблематика идентификации тесного мира. Базовые и продвинутые критерии идентификации. Алгоритм латтисизации.

11. Проблема локальной навигации в сетях. Алгоритм близорукого поиска. Проблема поиска короткого пути в случайном графе и модели Клейнберга.

12. Модель Клейнберга. Локальная навигация в модели Клейнберга.

13. Центральность по степени. Определения, основные свойства, примеры.

14. Центральность по близости. Определения, основные свойства, примеры.

15. Центральность по посредничеству. Определения, основные свойства, примеры.

16. Центральность по собственному вектору. Определения, основные свойства, примеры.

17. Алгоритм PageRank: базовый принцип и полный алгоритм. Снятие ограничений базового принципа.

18. Алгоритм кластеризации сообществ в сети Гирвана-Ньюмана. Особенности алгоритма.

19. Мера модулярности и алгоритм кластеризации (выявления сообществ) в сети Лоувэйна. Особенности алгоритма.

20. Алгоритм кластеризации (выявления сообществ) в сети label propagation. Особенности алгоритма.

21. Спектральные методы кластеризация (выявления сообществ) в сети. Особенности подхода.

22. Задача распространения меток. Постановка, базовые алгоритмы решения.

23. Ядро и периферия графа. Алгоритм выделения ядра графа.

24. Спектральный метод наименьшего разреза графа

25. Моделирование сложных сетей. Основные классы моделей (случайные, малые миры, свободные масштабы). Их отличительные черты и области применения.

26. Центральность по влиянию (Influence Centrality). Формулировка и основное отличие от других видов центральности.

27. Перколяция и теория перколяции. Связь с устойчивостью сети и фазовыми переходами.

28. Принцип наибольшего подобия (Principle of Maximum Similarity). Его роль в выявлении сообществ и распространении информации в сетях.

29. Рандомизация сетей. Зачем нужны рандомизированные версии реальных сетей и как это помогает анализировать реальную сеть?

30. Предсказание отсутствующих связей (Link Prediction). Основные подходы и показатели эффективности.

31. Вероятностные графовые модели. Байесовская сеть, марковские случайные поля и их применение в сетевом анализе.

32. Анализ динамики сетей. Что изучают динамические сети и какими показателями пользуются исследователи?

33. Спектральная плотность матриц Лапласиан сети. Значение спектра и собственные числа в изучении структуры сети.

34. Социальные сети и принципы их организации. Важнейшие характеристики и отличия от других классов сетей.

35. Биологические сети. Примеры биологической интерпретации сетей (белковые, метаболические, регуляторные сети) и характерные признаки таких сетей.

36. Робастность сетей. Характеристики робастности и ключевые факторы, определяющие устойчивость сети к внешним воздействиям.

37. Распространение заболеваний и вирусов в сетях. Основные механизмы и используемые модели для описания эпидемий.

38. Метрика эффективной длины пути (Effective Path Length). Ее значение и область применения.

39. Отсутствие масштаба (Scale-Free Property). Почему этот термин важен для анализа сложных сетей и каковы последствия наличия свободной шкалы?

40. Расширенная модель Ба́рабаши—Альберта. Преимущества и недостатки расширения базовой модели, введение механизмов старения и конкуренции узлов.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. Криволапов, С. Я. Использование языка Python в теории вероятностей [Электронный ресурс] : учебник / Криволапов С. Я. Москва : Прометей, 2022 492 с. Книга из коллекции Прометей - Математика https://e.lanbook.com/book/220814 ISBN 978-5-00172-220-5. [БИК ID: RU-LAN-BOOK-220814]

2. Криволапов, С.Я. Математика на Python : Учебник / С.Я. Криволапов, М.Б. Хрипунова Электрон. дан. Москва : КноРус, 2025 455 с. Режим доступа: book.ru Internet access https://book.ru/book/955467 ISBN 978-5-406-13759-8. [БИК ID: RU\bookru\bibl\955467]

Дополнительная литература:

1. Ростовцев, В. С. Искусственные нейронные сети [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Ростовцев В. С. 5-е изд., стер. Санкт-Петербург : Лань, 2025 216 с. Книга из коллекции Лань - Информатика https://e.lanbook.com/book/447392 ISBN 978-5-507-50568-5. [БИК ID: RU-LAN-BOOK-447392]

2. Криволапов, С.Я. Статистические вычисления на платформе Jupyter Notebook с использованием Python : Учебник / С.Я. Криволапов Электрон. дан. Москва : КноРус, 2022 431 с. Режим доступа: book.ru Internet access https://book.ru/book/943660 ISBN 978-5-406-09739-7. [БИК ID: RU\bookru\bibl\943660]

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. •Электронная библиотека Финансового университета (ЭБ) http://elib.fa.ru/

2. •Электронно-библиотечная система BOOK.RU http://www.book.ru

3. •Электронно-библиотечная система издательства «ЮРАЙТ» https://urait.ru/

4. •Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека ОНЛАЙН» http://biblioclub.ru/

5. •Электронно-библиотечная система издательства Проспект http://ebs.prospekt.org/books

6. •Электронно-библиотечная система издательства Лань https://e.lanbook.com/

7. "Деловая онлайн библиотека" издательства "Альпина Паблишер" http://lib.alpinadigital.ru/en/library

8. Математические журналы: полнотекстовая коллекция Математического института им. В.А. Стеклова РАН https://www.mathnet.ru/

9. •Научная электронная библиотека eLibrary.ru http://elibrary.ru

10. •Национальная электронная библиотека http://нэб.рф/

11. Ресурсы информационно-аналитического агентства по финансовым рынкам Cbonds.ru https://cbonds.ru/

12. СПАРК https://spark-interfax.ru/

13. •CNKI. Academic Reference https://ar.oversea.cnki.net/

14. •Электронные продукты издательства Elsevier http://www.sciencedirect.com

15. Emerald: Management eJournal Portfolio https://www.emerald.com/insight/

16. Реферативная база данных по математике MathSciNET https://mathscinet.ams.org/mathscinet/

17. •Коллекция научных журналов Oxford University Press https://academic.oup.com/journals/

18. •Электронные коллекции книг и журналов издательства Springer: http://link.springer.com/

19. Платформа STATISTA https://www.statista.com/

20. •База данных научных журналов издательства Wiley https://onlinelibrary.wiley.com/

21. Электронная документация по работе в pytorch (вариант 1): https://neurohive.io/ru/tutorial/glubokoe¬obuchenie-s-pytorch/

22. Электронная документация по работе в pytorch (вариант 2): https://pytorch.org/tutorials/

23. Дистрибутив anaconda: http://anaconda.org/

24. http://pandas.pydata.org/

25. Курс лекций по машинному и глубокому обучению (электронный учебник): http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Основные этапы работы студента по дисциплине Машинное обучение на графах:

1. Предварительная ориентировка в подлежащем изучению учебном материале по программе.

2. Ознакомление с рекомендованной учебной литературой.

3. Слушание и конспектирование лекций, а также выполнение других видов учебной работы.

4. Планирование самостоятельной работы.

5. Обобщение и систематизация информации, почерпнутой из лекций и прочитанной литературы.

6. Выполнение контрольной работы.

Рекомендации по работе с учебным материалом:

1. Осознавайте наличный уровень полученных вами знаний.

2. В ситуации непонимания нужно выявить тот первичный уровень и факторы непонимания, которые стали препятствием понимания последующего.

3. Задавайте сами себе вопросы и пытайтесь ответить на них.

Рекомендации по работе на лекции и с лекционным материалом:

1. Основная задача на лекции – осмысление излагаемого в ней материала. Для этого необходимо слушать лекцию с самого начала, не упуская общих, ориентирующих в материале рассуждений и установок лектора.

2. Ведение записей на лекции важно и полезно для лучшего осмысливания материала, для сохранения информации, с целью ее дальнейшего использования.

3. Для облегчения записи рекомендуется применять сокращения повторяющихся терминов или хорошо известных понятий.

Рекомендации по работе с литературой:

1. Если возникли затруднения при разыскивании материала, по какому- либо конкретному вопросу, следует обратиться к предметному указателю, напечатанному, как правило, в конце каждого литературного источника.

2. Предметный указатель – это алфавитный список основных научных понятий (терминов), содержание которых раскрыто в книге, рядом с термином стоят числа, обозначающие номера страниц, на которых изложен материал, относящийся к данному понятию.

Студентам при подготовке домашнего задания следует использовать нормативные документы Финансового университета, Методические рекомендации по планированию и организации внеаудиторной самостоятельной работы студентов по образовательным программам бакалавриата и магистратуры в Финансовом университете, утвержденные приказом Финуниверситета от 11.05.2021 г. № 1040/о (см. сайт Финансового

Университета: на главной странице раздел "Наш университет"→ "Единая правовая база Финуниверситета" → "Организация учебного процесса" → "Нормативные документы по самостоятельной работе").

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем

- Комплект лицензионного программного обеспечения:

1. Kaspersky
2. Пакет офисных программ

- Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Информационно-правовая система «Гарант»
2. Информационно-правовая система «Консультант Плюс»
3. Электронная энциклопедия: http://ru.wikipedia.org/wiki/Wiki
4. Система комплексного раскрытия информации «СКРИН» - http://www.skrin.ru/
5. Язык программирования Python 3. https://pythonworld.ru/

- Сертифицированные программные и аппаратные средства защиты информации

1. не предусмотрены

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. **Учебная аудитория** для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, в том числе групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и

промежуточной аттестации, оснащенная оборудованием и техническими средствами обучения: мебель аудиторная (столы, стулья, доска аудиторная), набор демонстрационного оборудования (проектор, экран)

2. **Помещение для самостоятельной работы** обучающихся оснащенное компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде Университета.