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: koWk4NCWzDWfwds4ShWq0AF3dlAtoYjM
Дата: 23.09.2025 г.

А.А. Кочкаров

Алгоритмы теории графов

Рабочая программа дисциплины

для студентов, обучающихся по направлению подготовки:
01.04.02 - Прикладная математика и информатика,
Образовательная программа «Инженер машинного обучения»
Направленность программы:
«Инженер машинного обучения»

Рекомендовано
Факультет информационных технологий и анализа больших данных
(протокол № 03 от 16.12.2025 г.)
Одобрено
Кафедра искусственного интеллекта
(протокол № 4 от 05.12.2025 г.)

© Москва 2026

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Наименование дисциплины	3
2.	Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы (перечень компетенций) с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине	3
3.	Место дисциплины в структуре образовательной программы	4
4.	Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах и в академических часах с выделением объема аудиторной (лекции, семинары) и самостоятельной работы обучающихся	4
5.	Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) дисциплины с указанием их объемов (в академических часах) и видов учебных занятий	5
5.1.	Содержание дисциплины	5
5.2.	Учебно-тематический план	7
5.3.	Содержание семинаров	8
6.	Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	10
6.1.	Перечень вопросов, отводимых на самостоятельное освоение дисциплины, формы внеаудиторной самостоятельной работы	10
6.2.	Перечень вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю	11
7.	Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине	12
8.	Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	17
9.	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины	17
10.	Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	19
11.	Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем	19
12.	Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине	20

1. Наименование дисциплины

«Алгоритмы теории графов».

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

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения (умения и знания), соотнесенные с индикаторами достижения компетенции
ПКН-2	Способность использовать современные информационные системы и математические методы для решения математических, естественнонаучных, социально-экономических и профессиональных задач предметной области	Демонстрирует знание современных информационных систем на основе и с применением математических моделей и методов	**знать:** современные подходы к моделированию и исследованию сетевых систем **уметь:** применять полученные знания при решении математических, естественнонаучных, социально-экономических и профессиональных задач в контексте сложных сетевых систем большой размерности
		Применяет полученные знания при решении математических, естественнонаучных, социально-экономических и профессиональных задач в междисциплинарном контексте	**знать:** основные свойства больших динамических графов, а также методы оптимизации для задач на больших графах **уметь:** использовать свойство наследственности для решения многокритериальных задач на больших самоподобных графах

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Алгоритмы теории графов» относится к «Модулю дисциплин, инвариантных для направления подготовки, отражающих специфику ВУЗа».

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 4 (в часах)**
Общая трудоёмкость дисциплины	3/108	108
Контактная работа-Аудиторные занятия	40	40
Лекции	10	10
Семинары, практические занятия	30	30
Самостоятельная работа	68	68
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. Прикладная теория графов и фундаментальный анализ сетевых систем большой размерности

Основные понятия прикладной теории графов. Метрические и топологические характеристики больших графов. Применение классических алгоритмов построения оптимальных решений на больших графах. Понятие сетевых систем большой размерности. Применение больших графов для моделирования сетевых систем.

Тема 2. Большие статические и динамические графы

Понятие больших динамических графов. Формирование правил порождение и динамики больших графов. Статистические характеристики больших графов. Алгоритмы расчета изменения метрических и топологических характеристик больших динамических графов.

Тема 3. Оптимизационные задачи на больших статических и динамических графах

Постановка однокритериальных и многокритериальных задач на больших статических и динамических графах. Понятие наследственности решения в оптимизационных задачах на больших динамических графах. Алгоритмы построения решений оптимизационных задач на больших динамических графах.

Тема 4. Проектирование больших графов с заданными характеристиками

Алгоритмы и методики проектирования больших графов с заданными характеристиками. Проектирование больших динамических графов.

Тема 5. Применение больших графов для решения современных прикладных задач

Структурное моделирование сетевых систем большой размерности: моделирование взаимодействия в финансовых и межбанковских сетях, моделирование социальных сетей, распространения и конкуренции информации в социальных сетях и социальных медиа, моделирование кибер-атак на криптовалютные платежные системы,

моделирование взаимодействие в роевых системах и интернете-вещей, моделирование медицинских и биологических сетей. Алгоритмы анализа больших графов, как структурных моделей сетевых систем большой размерности.

5.2. Учебно-тематический план

№ п/п	Наименование тем(разделов) дисциплины	Трудоемкость в часах				
		Всего	Контактная работа - Аудиторная работа			Самостоятельная работа
			Общая, в т.ч.:	Лекции	Семинары, практические занятия	
1	Прикладная теория графов и фундаментальный анализ сетевых систем большой размерности	21	8	2	6	13
2	Большие статические и динамические графы	21	8	2	6	13
3	Оптимизационные задачи на больших статических и динамических графах	21	8	2	6	13
4	Проектирование больших графов с заданными характеристиками	21	8	2	6	13
5	Применение больших графов для решения современных прикладных задач	24	8	2	6	16
	Итого	108	40	10	30	68

5.3. Содержание семинаров

Наименование тем (разделов) дисциплины	**Перечень вопросов для обсуждения на семинарах, практических занятиях**	**Формы проведения занятий**
Прикладная теория графов и фундаментальный анализ сетевых систем большой размерности	Основные понятия теории графов. Метрические и топологические характеристики больших графов. Применение классических алгоритмов построения оптимальных решений на больших графах. Понятие сетевых систем большой размерности. Применение больших графов для моделирования сетевых систем.	Интерактивная форма, практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 студента) и коллективное обсуждение решений
Большие статические и динамические графы	Понятие больших динамических графов. Формирование правил порождение и динамики больших графов. Статистические характеристики больших графов. Алгоритмы расчета изменения метрических и топологических характеристик больших динамических графов.	Интерактивная форма, практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 студента) и коллективное обсуждение решений
Оптимизационные задачи на больших статических и динамических графах	Постановка однокритериальных и многокритериальных задач на больших статических и динамических графах. Понятие наследственности решения в оптимизационных задачах на больших динамических графах. Алгоритмы построения решений оптимизационных задач на больших динамических графах.	Интерактивная форма, практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 студента) и коллективное обсуждение решений
Проектирование больших графов с заданными характеристиками	Алгоритмы и методики проектирования больших графов с заданными характеристиками. Проектирование больших динамических графов.	Интерактивная форма, практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 студента) и коллективное обсуждение решений
Применение больших графов для решения современных прикладных задач	Структурное моделирование сетевых систем большой размерности: моделирование взаимодействия в финансовых и межбанковских сетях, моделирование социальных сетей, распространения и конкуренции информации в социальных сетях и социальных медиа, моделирование кибер-атак на криптовалютные платежные системы, моделирование взаимодействие в роевых системах и интернете-	Интерактивная форма, практикум по решению задач по тематике занятия в малых группах (2-4 студента) и коллективное обсуждение решений

	вещей, моделирование медицинских и биологических сетей. Алгоритмы анализа больших графов, как структурных моделей сетевых систем большой размерности.	

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**
Прикладная теория графов и фундаментальный анализ сетевых систем большой размерности	Библиотека networkX на языке Python: возможности библиотеки по работе с большими графами. Визуализация больших графов с использованием библиотеки.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Большие статические и динамические графы	Большие самоподобные и масштабно-инвариантные графы: свойства и характеристики. Применение библиотеки networkX для работы с самоподобными и масштабно-инвариантными графами.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Оптимизационные задачи на больших статических и динамических графах	Алгоритмы построения решений оптимизационных задач на самоподобных и масштабно-инвариантных графах. Применение для решения задач библиотеки networkX.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Проектирование больших графов с заданными характеристиками	Структурное проектирование самоподобных больших статических и динамических графов: алгоритмы и методики проектирования.	Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию.
Применение больших графов для решения современных прикладных задач	Структурное моделирование технических и транспортно-логистических сетевых систем большой размерности: применение больших динамических графов.	Работа с учебной 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 задания контрольной работы

1. Сформулировать правила порождения динамического графа. Взвесить ребра графа случайным образом в диапазоне от 1 до 10. Найти решение задачи поиска остовного дерева на динамическом графе. Визуализировать решения на этапах порождения 100…110. Проанализировать качественное (структурное) и количественное (вес остовного) изменение решения на этапах указанных этапах порождения.

2. Сформулировать правила порождения самоподобного динамического графа с размерностью затравки не менее 4. Визуализировать граф, полученный этапах порождения 5…7. Взвесить ребра графа случайным образом в диапазоне от 1 до 10. Найти решение задачи поиска остовного дерева на динамическом графе. Визуализировать решения на этапах порождения 10…12. Проанализировать качественное (структурное) и количественное (вес остовного) изменение решения на этапах указанных этапах порождения.

3. Построить траекторию самоподобного графа , порожденного множеством полных связных затравок , так чтобы в процессе порождения смежность старых ребер не нарушалась. Рассчитать для каждого графа в траектории и . (20 баллов)

4. Построить остовное дерево минимального веса для каждого графа в траектории динамического графа, , порожденного по правилу «треугольника Серпинского» и взвешенного в диапазоне от 5 до 8 случайным образом. Провести анализ устойчивости решения на всей траектории динамического графа с учетом включения решений из предыдущих этапов порождения в решения на последующих этапах порождения.

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

ПКН-2 Способность использовать современные информационные системы и математические методы для решения математических, естественнонаучных, социально-экономических и профессиональных задач предметной области

1) Демонстрирует знание современных информационных систем на основе и с применением математических моделей и методов

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

Знать: современные подходы к моделированию и исследованию сетевых систем

Уметь: применять полученные знания при решении математических, естественнонаучных, социально-экономических и профессиональных задач в контексте сложных сетевых систем большой размерности

Типовые контрольные задания

Сформулировать правила порождения динамического самоподобного графа такого, что его метрические характеристики в траектории изменяются линейной. Визуализировать траекторию графа.

2) Применяет полученные знания при решении математических, естественнонаучных, социально-экономических и профессиональных задач в междисциплинарном контексте

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

Знать: основные свойства больших динамических графов, а также методы оптимизации для задач на больших графах

Уметь: использовать свойство наследственности для решения многокритериальных задач на больших самоподобных графах

Типовые контрольные задания

Сформулировать правила порождения взвешенного связного динамического графа с ростом размерности в траектории. Построить остовное дерево минимального веса для каждого графа в траектории. Идентифицировать свойство наследственности в траектории.

Примеры практико-ориентированных заданий

1. Визуализация больших графов

- Построить самоподобный граф размерностью не менее 500 вершин.

- Визуализировать граф, используя стандартные функции библиотеки networkx.

- Визуализировать граф из п.1 по следующему принципу:

- Вершины, инцидентные ребрам с меньшими рангами, должны находиться ближе к центру окружности.

- Построить предфрактальный граф размерностью не менее 500 вершин.

2. Расчет характеристик больших графов

- Построить три больших графа (размерностью не 100 вершин каждый): случайный граф, самоподобный граф, динамический граф.

- Для каждого построенного графа рассчитать его метрические и топологические характеристики (радиус, диаметр и т.п.).

- Для каждого графа рассчитать показатели доступности, показатели связности, показатели формы графа, меры центральности.

- Сравнить рассчитанные показатели построенных графов.

- Визуализировать проведенный анализ по сравнению характеристик графов.

3. Исследование транзакций для криптовалютной системы

- Выработать случайное число block_number в диапазоне (253471, 760415) с помощью random. Предположить почему были выбраны эти границ

- Закрепить график среднего числа транзакций в блоке от времени, дать предположение о возможности приближения аналитической функцией этого числа.

- Отметить на графике примерное расположение блока с номером block_number. *(+1 балл) Найти json с данными для этого графика и отметить это не

приблизительно на рисунке, а с детальной точностью, построить график при помощи matplotlib/seaborn

- Изучить структуру блока и его содержимое по ссылкеwww.blockchain.com/explorer/blocks/btc/$block_number

- Загрузить данные блока в формате json https://blockchain.info/block-height/$block_number (для удобства рекомендуется считать данные в словарь) *(+0.5

балла). Использовать requests для выполнения этого задания

- Вычислить и отобразить такие параметры блока: число транзакций, их среднюю величину, медианное значение, перцентили 25, 50, 75%, вычислить

период, когда этот блок был последним в блокчейне, вычислить суммарную комиссию за все транзакции в блоке. *(облегчит эту задачу — использование

pandas dataframe).

Примерные вопросы для подготовки к зачету

1. Основные понятия прикладной теории графов. Понятие сетевых систем большой размерности. Применение больших графов для моделирования

сетевых систем.

2. Метрические и топологические характеристики больших графов. Алгоритмов построения оптимальных решений на больших графах.

3. Понятие больших динамических графов. Формирование правил порождение и динамики больших графов. Статистические характеристики больших графов.

4. Траектория большого динамического графа. Применение операций над графами для формирования правил порождения динамических графов.

5. Самоподобные и масштабно-инвариантные динамические графы: правила порождения и области применения.

6. Алгоритмы визуализации больших самоподобных динамических графов.

7. Алгоритмы расчета изменения метрических и топологических характеристик больших динамических графов.

8. Алгоритмы расчета изменения метрических и топологических характеристик самоподобных динамических графов.

9. Однокритериальные оптимизационные задачи на больших статических и динамических графах. Алгоритмы построения решений

10. Многокритериальные оптимизационные задачи на больших статических и динамических графах. Алгоритмы построения решений

11. Понятие наследственности решения и ее применение в оптимизационных задачах на больших динамических графах.

12. Алгоритмы с оценками для построения решений оптимизационных задач на динамических графах.

13. Алгоритмы построения решений оптимизационных задач на больших самоподобных динамических графах.

14. Асимптотический анализ алгоритмов построения решений в оптимизационных задачах на больших графах.

15. Алгоритмы и методики проектирования больших графов с заданными характеристиками.

16. Структурное моделирование сетевых систем большой размерности: моделирование взаимодействия в финансовых и межбанковских сетях.

17. Структурное моделирование сетевых систем большой размерности: моделирование социальных сетей, распространения и конкуренции информации в социальных сетях и социальных медиа.

18. Структурное моделирование сетевых систем большой размерности: моделирование кибер-атак на криптовалютные платежные системы.

19. Структурное моделирование сетевых систем большой размерности: моделирование взаимодействие в роевых системах

20. Структурное моделирование сетевых систем большой размерности: моделирование взаимодействие интернете-вещей.

21. Алгоритмы анализа больших графов, как структурных моделей сетевых систем большой размерности.

22. Алгоритмы оценки метрической близости графов (статических, динамических) большой размерности.

23. Алгоритмы реконструирования покрытий (решений) в оптимизационных задачах на графах большой размерности.

24. Анализ устойчивости решений однокритериальных задач на больших динамических графах.

25. Анализ устойчивости решений многокритериальных задач на больших самоподобных динамических графах.

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

Основная литература:

1. Кочкаров, А.А. Прикладная теория графов и сетевые модели : Учебное пособие / А.А. Кочкаров, Д.В. Яцкин, Р.А. Кочкаров Электрон. дан. Москва : КноРус, 2021 209 с. Режим доступа: book.ru Internet access https://book.ru/book/942476 ISBN 978-5-406-08006-1. [БИК ID: RU\bookru\bibl\942476]

2. Яцкин, Д.В. Теория графов и классические задачи прикладной математики в экономике : Учебное пособие / Д.В. Яцкин, А.А. Кочкаров Электрон. дан. Москва : КноРус, 2020 248 с. Режим доступа: book.ru Internet access https://book.ru/book/934643 ISBN 978-5-406-01309-0. [БИК ID: RU\bookru\bibl\934643]

Дополнительная литература:

1. Кочкаров, А.А. Экспериментальная теория графов и алгоритмы анализа сетевых моделей : Учебное пособие / А.А. Кочкаров, С.В. Макрушин, В.Е. Каменчук, Н.В. Блохин Электрон. дан. Москва : КноРус, 2024 160 с. Режим доступа: book.ru Internet access https://book.ru/book/951734 ISBN 978-5-406-12531-1. [БИК ID: RU\bookru\bibl\951734]

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 «Университетская библиотека ОНЛАЙН» http://biblioclub.ru/
4. •Электронно-библиотечная система Znanium http://www.znanium.ru/
5. Электронно-библиотечная система издательства «ЮРАЙТ» https://www.biblio-online.ru/
6. Электронно-библиотечная система издательства "Лань" https://e.lanbook.com/
7. •Деловая онлайн-библиотека Alpina Digital http://lib.alpinadigital.ru/
8. •Научная электронная библиотека eLibrary.ru http://elibrary.ru

9. •Национальная электронная библиотека http://нэб.рф/
10. Pylru 1.0.9 https://pypi.python.org/pypi/pylru
11. Python Documentation http://python.org/doc/
12. Python Standard Library https://docs.python.org/2/library/

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

1. При изучении теоретического материала необходимо опираться на рабочую программу дисциплины и литературу из основного списка. Кроме этого материала, необходимо активно работать с Интернет-источниками и пособиями других авторов, помогающими усвоить материал отдельных разделов программы.

2. Практические занятия проводятся по следующей схеме:

Студенты в индивидуальном режиме выполняют задания в компьютерном классе. Существуют две основные формы заданий. В первом случае всем студентам предлагаются одинаковые исходные данные. После выполнения заданий устраивается обсуждение результатов в форме тематической дискуссии. Во втором случае каждому из студентов предлагается индивидуальное задание. В этом случае после выполнения задания организуется работа в группах: каждый из студентов анализирует и критически оценивает или же интерпретирует результаты одного или нескольких членов группы.

3. При подготовке к контрольной работе 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. Windows

2. Kaspersky

3. Язык R

4. Python 3.8

Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Информационно-правовая система «Гарант»

2. Информационно-правовая система «Консультант Плюс»

3. Система комплексного раскрытия информации «СКРИН» - http://www.skrin.ru/

4. Электронная энциклопедия: http://ru.wikipedia.org/wiki/Wiki

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. **Компьютерный класс** для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, в том числе групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенный оборудованием и техническими средствами обучения: мебель аудиторная (столы, стулья, доска аудиторная), персональные компьютеры, набор демонстрационного оборудования (проектор, экран)