**Федеральное государственное образовательное**

**бюджетное учреждение высшего образования**

**«ФинансовЫЙ УНИВЕРСИТЕТ при**

**Правительстве Российской Федерации»**

**(Финансовый университет)**

**Департамент анализа данных,**

**принятия решений и финансовых технологий**

Макрушин С.В.

**ТЕОРИЯ СЛОЖНЫХ СЕТЕЙ В ЭКОНОМИКЕ**

**Рабочая программа дисциплины**

для студентов, обучающихся по направлению подготовки

01.03.02 «Прикладная математика и информатика»,

профиль «Анализ данных и принятие решений в экономике и финансах»

**Москва 2019**

**Федеральное государственное образовательное бюджетное**

**учреждение высшего образования  
«ФИНАНСОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»**

**(Финансовый университет)**

**Департамент анализа данных, принятия решений и**

**финансовых технологий**

|  |  |
| --- | --- |
| СОГЛАСОВАНО  ООО «Зеробит»  (наименование организации)  Рук отдела по работе с корп заказчиками  (должность представителя работодателя)  К.Г. Базанов И.О. Фамилия    15.10. 2019 г. | УТВЕРЖДАЮ  Ректор  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_М.А. Эскиндаров  22.10. 2029 г. |

Макрушин С.В.

**ТЕОРИЯ СЛОЖНЫХ СЕТЕЙ В ЭКОНОМИКЕ**

**Рабочая программа дисциплины**

для студентов, обучающихся по направлению подготовки

01.03.02 «Прикладная математика и информатика»,

профиль «Анализ данных и принятие решений в экономике и финансах»,

*Рекомендовано Ученым советом   
факультета прикладной математики и информационных технологий*

*(протокол №18 от 15.10.2019 г.)*

*Одобрено Советом учебно-научного департамента анализа данных,   
принятия решений и финансовых технологий  
(протокол от №3 от 15.10.2019 г.)*

**Москва 2019**

Рецензенты: **В. Г. Феклин** – к. ф-м. н., доцент Департамента анализа данных, принятия решений и финансовых технологий.

Макрушин С.В. «Теория сложных сетей в экономике». Рабочая программа дисциплины для студентов, обучающихся по направлению подготовки 01.03.02 – «Прикладная математика и информатика» профиль: «Анализ данных и принятие решений в экономике и финансах», (программа подготовки бакалавра) (2017-2019 г. приема) — М.: Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, департамент «Анализа данных, принятия решений и финансовых технологий», 2019.-   24 с.

Дисциплина «Теория сложных сетей в экономике» относится к Модулю профиля «Анализ данных и принятие решений в экономике и финансах», направление подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика».

Дисциплина «Теория сложных сетей в экономике» знакомит с основами теории сложных сетей, ее основными методами и инструментами, современными технологиями анализа сетевых структур.

Рабочая программа содержит требования к уровню освоения содержания дисциплины, объем дисциплины и виды учебной работы, программу дисциплины и тематику практических занятий, учебно-методическое и информационное обеспечение.

УДК 003.26.09 ББК \_\_\_\_\_\_\_\_\_

***Учебное издание***

***Макрушин Сергей Вячеславович***

**Теория сложных сетей в экономике**

***Рабочая программа дисциплины***

Компьютерный набор, верстка С.В. Макрушин

Формат 60х90/16. Гарнитура Times New Roman

Усл. п.л.\_\_\_\_\_ . Изд. № \_\_\_\_ .Тираж - \_\_\_\_ экз.

*Заказ №*

*Отпечатано в Финуниверситете*

© **С. В. Макрушин, 2019**

© **Финансовый университет, 2019**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

[1. Наименование дисциплины 4](#_Toc19304882)

[2. Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине. 4](#_Toc19304883)

[3. Место дисциплины в структуре образовательной программы 5](#_Toc19304885)

[4. Объем дисциплины в зачетных единицах и в академических часах с выделением объема аудиторной (лекции, семинары) и самостоятельной работы обучающихся](#_Toc19304886) 6

[5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) дисциплины с указанием их объемов (в академических часах) и видов учебных занятий](#_Toc19304887) 7

[5.1. Содержание дисциплины](#_Toc19304888) 7

5.2. Учебно-тематический план…………………………………………..10

[5.3. Содержание семинаров, практических занятий](#_Toc19304889) 12

[6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине 1](#_Toc19304890)4

[6.1. Перечень вопросов, отводимых на самостоятельное освоение дисциплины, формы внеаудиторной самостоятельной работы 1](#_Toc19304891)5

[6.2. Перечень вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю ………………………………………………………………………...1](#_Toc19304892)6

[7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине 1](#_Toc19304895)8

[8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины](#_Toc19304896) 21

[9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины](#_Toc19304897) 23

[10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины](#_Toc19304898) 24

[11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем](#_Toc19304899) 24

[12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине](#_Toc19304900) 25

# Наименование дисциплины

«Теория сложных сетей в экономике».

# Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Код компетенции** | **Наименование компетенции** | **Индикаторы достижения компетенции[[1]](#footnote-1)** | **Результаты обучения (владения[[2]](#footnote-2), умения и знания), соотнесенные с компетенциями/индикаторами достижения компетенции** |
| **2017, 2018 год приема** | | | |
| ПК-5 | Способность осуществлять целенаправленный поиск информации о новейших научных и технологических достижениях в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и в других источниках | **-** | **Знать:** источники информации о новейших научных и технологических достижениях в области анализа сетевой информации.  **Уметь:** осуществлять поиск информации о новейших научных и технологических достижениях в области анализа сетевой информации.  **Владеть:** технологиями чтения, работы с онлайн-источниками, поисковыми машинами и другими современными технологиями поиска информации о новейших научных и технологических достижениях в области анализа сетевой информации. |
| ПК-7 | Способность к разработке и применению алгоритмических и программных решений в области системного и прикладного программного обеспечения | ~~-~~ | **Знать** основные модели ТСС, основные подходы к решению задач методами ТСС, основные инструментальные средства для решения задач ТСС.  **Уметь** формулировать классические задачи ТСС  **Владеть** техникой решения практико-ориентированных задач методами ТСС, в том числе с помощью специализированных инструментальных средств ТСС |
| ПКП-5 | Способность применять методы и инструменты анализа данных при подготовке аналитического обоснования финансово-экономических решений | ~~-~~ | **Знать** основные приложения для моделей ТСС, основные подходы к решению аналитических задач методами ТСС, основные практические задачи ТСС  **Уметь** идентифицировать прикладные задачи ТСС, использовать методы и инструменты ТСС  **Владеть** техникой решать практико-ориентированные задачи для обоснования финансово-экономических решений с помощью средств ТСС |
| **2019, 2020 год приема** | | | |
| ПКП-6 | Способность ставить и решать оптимизационные задачи в различных сферах экономики и финансов | 1. Владеет оптимизационными методами, демонстрирует знание принципов и особенностей выбора оптимизационных методов в зависимости от поставленной задачи.  2.Разрабатывает оптимизационные модели в области экономики и финансов.  3.Решает оптимизационные задачи в различных сферах экономики и финансов. | **Знать:** оптимизационные задачи их области ТСС.  **Уметь:** решать оптимизационные задачи их области ТСС  **Знать:** основные подходы к решению постановки прикладных задач в сфере экономики и финансов с использованием методологии ТСС  **Уметь:** решать практико-ориентированные задачи в сфере экономики и финансов с использованием методов ТСС  **Знать:** способы решения оптимизационных задач.  **Уметь:** решать оптимизационные задачи в различных сферах экономики и финансов |

# Место дисциплины в структуре образовательных программ

Дисциплина «Теория сложных сетей в экономике» относится к Модулю профиля «Анализ данных и принятие решений в экономике и финансах», направление подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика».

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

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётных единицы.

Вид промежуточной аттестации – зачет.

Вид текущего контроля – контрольная работа

*Очная форма обучения, 2017 г.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Вид учебной работы**  **по дисциплине** | **Всего**  **(в з/е и часах)** | **Семестр 6**  **(в часах)** |
| **Общая трудоемкость дисциплины** | **3 з/е, 108 ч.** | **108** |
| ***Контактная работа***  ***- Аудиторные занятия*** | **36** | **34** |
| *Лекции* | *18* | *16* |
| *Семинары,*  *практические занятия* | *18* | *18* |
| ***Самостоятельная работа*** | ***72*** | ***72*** |
| Вид текущего контроля | Контрольная работа | Контрольная работа |
| Вид промежуточной аттестации | Зачет | Зачет |

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётных единицы.

Вид промежуточной аттестации – зачет.

Вид текущего контроля – контрольная работа (2018 г.) / курсовая работа (2019 г.) / – (2020 г.)

*Очная форма обучения 2018 / 2019 / 2020 г.г.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Вид учебной работы**  **по дисциплине** | **Всего**  **(в з/е и часах)** | **Семестр 6**  **(в часах)** |
| **Общая трудоемкость дисциплины** | **3 з/е, 108 ч.** | **108** |
| ***Контактная работа***  ***- Аудиторные занятия*** | ***34*** | ***34*** |
| *Лекции* | *16* | *16* |
| *Семинары,*  *практические занятия* | *18* | *18* |
| ***Самостоятельная работа*** | ***74*** | ***74*** |
| Вид текущего контроля | Контрольная работа / курсовая работа (20 час)/ - | Контрольная работа / курсовая работа (20 час)/ - |
| 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. Базовые понятия теории сложных сетей и введение в библиотеку NetworkX***

Введение в предметную область теории сложных сетей: объект исследования, история возникновения, прикладные области и основные задачи теории. 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. Общие положения о языке программирования Python и знакомство с используемым программным инструментарием (версией языка программирования Python, дистрибутивом Anaconda). Интерактивная оболочка Jupyther notebook: принципы работы и применение для решения задач анализа сетей.

Знакомство с библиотекой NetworkX. Базовые операции в NetworkX: создание сети, оперирование с узлами и связями, базовая визуализация сетей. Обзор структуры библиотеки NetworkX.

***Тема 2. Базовые метрики и свойства сетей и модели формирования случайных сетей***

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.

Модели формирования случайных сетей: модель Эрдёша-Реньи (Erdos-Renyi) и родственные модели. Распределения степеней узлов для случайных сетей. Фазовый переход при возникновении связанной компоненты сети. Диаметр и коэффициент кластеризации для случайных сетей.

***Тема 3. Модели роста сетей***

Модели роста сетей: модель Барабаши-Альберта (Barabasi-Albert) и модель случайного роста сети. Распределения степеней узлов для рассматриваемых моделей, безмасшатбные сети, содержательная интерпретация хвоста распределения степеней узлов. Универсальность моделей роста сетей для большого класса эмпирически наблюдаемых сложных сетей.

Ассортативность, коэффициент ассортативности, визуализация ассортативности на диаграммах, ассортативность в рассмотренных моделях роста сетей.

***Тема 4. Модели тесного мира и самоподобные сети***

Сети в виде регулярных решеток. Размерность и другие параметры решеток. Свойства решеток.

Феномен «тесного мира» и модель Ваттса-Строгатца (Watts-Strogats). Переход от регулярного графа к случайному: динамика изменения кластерного коэффициента и средней длины пути. Проблема построения критерия принадлежности сети к сетям «тесного мира». Алгоритм латтисизации и его адаптации.

Самоподобные (фрактальные) сети. Алгоритмы построения самоподобных сетей. Фрактальная размерность и фрактальная размерность в сетях. Ассортативность в самоподобных сетях.

***Тема 5. Работа с данными о сетях и графовые базы данных***

Источники данных о сетях. Проблемы искажения информации при сборе данных о больших сетях. Обмен данными о сетях с помощью популярных форматов файлов. Возможности интеграции NetowrkX с инструментами анализа графов на примере интеграции с пакетом Gephi.

Модель данных property graph. Графовые базы данных: обзор решений, языки запросов и интерфейсы для работы с сетями. Сильные стороны графовых баз данных и их области применения. Введение в работу с графовой базой данных neo4j и языком запросов Cypher.

***Тема 6. Метрики центральности в сетях***

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).

Алгоритм PageRank. Стохастические матрицы. Теорема Фробенниуса-Перрона. Нахождение собственного вектора и итерационный подход. Алгоритм HITS, выявление хабов.

***Тема 7. Сообщества в сетях***

Понятие сетевых сообществ (network communities). Плотность связей в сети. Разделение сети на части (graph partitioning), разрезы в графе, минимальные разрезы в графе. Кластеризация и корреляционная матрица.

Степень посредничества связей, алгоритм Гирвана-Ньюмана (Girvin- Newman). Спектральные методы.

Мера Модулярности. Алгоритм Лоувэйна.

***Тема 8. Визуализация сетей***

Проблема визуализации сетей. Критерии эффективности визуализации. Выразительные возможности при визуализации, интерактивная визуализация и визуализация фрагментов сети. Потребности в визуализации атрибутов элементов сети.

Различные размещения узлов при визуализации: случайное размещение, круговое размещение и его модификации, радиальное размещение, размещение, определенное привязкой узлов к метрическому пространству. Силовые размещения: алгоритм Фрюхтермана-Рейнгольда, алгоритм Камада-Каваи, алгоритм GraphOpt. Спектральные размещения. Матричная визуализация. Подходы к визуализации больших графов. Алгоритм LGL (Large Graph Layout).

Инструменты визуализации сетей.

***Тема 9. Процессы в сетях: диффузия и пороговые модели***

Случайное блуждание в сетях. Процессы в сетях: отказы и надежность, эпидемии и слухи. Анализ надежности сетей. Модели эпидемий: SI, SIS, SIR. Модели распространения инфекций.

Пороговые модели коллективного действия. Каскадные явления в сетях.

* 1. **Учебно-тематический план**

*Очная форма обучения, 2017 / 2018, 2019, 2020 г.г.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **п/п** | **Наименование тем (разделов)**  **дисциплины** | **Трудоёмкость в часах** | | | | | | **Формы текущего контроля успеваемости** |
| **Всего** | **Аудиторная работа** | | | | **Самостоятельн**  **ая работа** |
| Общая, в т.ч.: | Лекции | Семинары, практические занят  ия | Занят  ия в интерактив  ной форме |
| 1. | Базовые понятия теории сетей и введение в библиотеку NetworkX | 12/13 | 4/4 | 2/2 | 2/2 | 2/2 | 8/9 | Устный опрос, проверка практических  заданий |
| 2. | Базовые метрики и свойства сетей и модели формирования случайных сетей | 12/13 | 4/4 | 2/2 | 2/2 | 0/0 | 8/9 | Устный опрос, проверка практических  заданий |
| 3. | Модели роста сетей | 12/12 | 4/4 | 2/2 | 2/2 | 2/2 | 8/8 | Устный опрос, проверка практических  заданий |
| 4. | Модели тесного мира и самоподобные сети | 12/12 | 4/4 | 2/2 | 2/2 | 0/0 | 8/8 | Устный опрос, проверка практических  заданий |
| 5. | Работа с данными о сетях и графовые базы данных | 12/12 | 4/4 | 2/2 | 2/2 | 2/2 | 8/8 | Устный опрос, проверка практических  заданий |
| 6. | Метрики центральности в сетях | 12/12 | 4/4 | 2/2 | 2/2 | 0/0 | 8/8 | Устный опрос, проверка практических  заданий |
| 7. | Сообщества в сетях | 12/12 | 4/4 | 2/2 | 2/2 | 2/2 | 8/8 | Устный опрос, проверка практических  заданий |
| 8. | Визуализация сетей | 12/11 | 4/3 | 2/1 | 2/2 | 0/0 | 8/8 | Устный опрос, проверка Устный опрос, проверка практических  заданий |
| 9. | Процессы в сетях: диффузия и пороговые модели | 12/11 | 4/3 | 2/1 | 2/2 | 0/0 | 8/8 | Устный опрос, проверка практических  заданий |
|  | В целом по дисциплине | 108 | 36/34 | 18/16 | 18/18 | 8/8 | 72/74 | Контрольная работа/курсовая работа/- |
|  | Итого в % |  |  |  |  | 22/23% |  |  |

## Содержание семинаров, практических занятий

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Наименование темы**  **(раздела) дисциплины** | **Перечень вопросов для обсуждения на семинарских, практических занятиях, рекомендуемые источники из разделов 8,9 (указывается раздел и порядковый номер источника)** | **Формы**  **проведения занятий** |
| Тема 1. Базовые понятия теории сложных сетей и введение в библиотеку NetworkX | Знакомство с базовыми понятиями теории сложных сетей информационными технологиями анализа сложных сетей  Входной контроль. Изучение технологического стека анализа сложных сетей, построенного на базе языка программирования Python и библиотеке NetworkX.  *Рекомендуемые источники: 8.1-8.5; 9.1 - 9.4.* | Индивидуальное выполнение заданий, групповой разбор результатов выполнения заданий (33% времени на интерактивные технологии) |
| Тема 2 Базовые метрики и свойства сетей и модели формирования случайных сетей | Локальные и интегральные свойства в сетях, метрики сетей, модели формирования случайных сетей, анализ распределения степеней узлов.  Решение задач по генерации сетей по модели Эрдёша-Реньи (Erdos-Renyi) и родственным моделям.  Решение задач на получение для сетей: кротчайшего пути, поиска связных компонент сети, средней длины пути в сети, диметра сети; коэффициента кластеризации для узлов и сети.  *Рекомендуемые источники: 8.1-8.5; 9.4* | Индивидуальное выполнение заданий, групповой разбор результатов выполнения заданий (33% времени на интерактивные технологии) |
| Тема 3 Модели роста сетей | Модели роста сетей, содержательная интерпретация хвоста распределения степеней узлов для этих моделей.  Ассортативность, коэффициент ассортативности.  Решение задач построения сетей по моделям Барабаши-Альберта (Barabasi-Albert) и модель случайного роста сети. Построение распределения степеней узлов для этих моделей и поиск хабов в сети.  *Рекомендуемые источники: 8.1.-8.5; 9.4* | Индивидуальное выполнение заданий, групповой разбор результатов выполнения заданий (33% времени на интерактивные технологии) |
| Тема 4 Модели тесного мира и самоподобные сети | Сети в виде регулярных решеток и их параметры. Феномен «тесного мира» и модели сетей «тесного мира». Проблема построения критерия принадлежности сети к сетям «тесного мира». Самоподобные (фрактальные) сети и фрактальная размерность сетей.  Решение задач построения сетей в виде регулярных решеток. Построение сетей с помощью модели Ваттса-Строгатца (Watts-Strogats).  *Рекомендуемые источники:8.1-8.5; 9.4* | Индивидуальное выполнение заданий, групповой разбор результатов выполнения заданий (33% времени на интерактивные технологии) |
| Тема 5 Работа с данными о сетях и графовые базы данных | Получение данных о сетях из различных источников. Интеграция по данным NetworkX с другими инструментами анализа сетей.  Графовые базы данных: обзор решений, языки запросов и интерфейсы для работы с сетями.  Решение задач экспорта и импорта данных о сетях, сбора данных о сетях из открытых источников. Работа с сетью как со структурой property graph.  *Рекомендуемые источники: 8.1-8.5;*  *9.1-9.4.* | Индивидуальное выполнение заданий, групповой разбор результатов выполнения заданий (33% времени на интерактивные технологии) |
| Тема 6 Метрики центральности в сетях | Понятие центральности узлов в сети и различные 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).  *Рекомендуемые источники: 8.1-8.5; 9.4.* | Индивидуальное выполнение заданий, групповой разбор результатов выполнения заданий (33% времени на интерактивные технологии) |
| Тема 7. Сообщества в сетях | Понятие сетевых сообществ. Плотность связей в сети. Разделение сети на части. Степень посредничества связей, алгоритм Гирвана-Ньюмана и спектральные методы.  Решение задач на выявление сетевых сообществ в сетях. Расчет плотности сети.  *Рекомендуемые источники: 8.1-8.5; 9.4.* | Выполнение практических заданий на компьютере, работа в группах (33% времени на интерактивные технологии). |
| Тема 8. Визуализация сетей | Проблема визуализации сетей. Рассмотрение различных размещений узлов при визуализации. Знакомство с различными инструментами визуализации сетей.  Решение задач визуализации сетей с помощью: случайного размещения, кругового размещения и его модификаций, радиального размещения, размещения, определенное привязкой узлов к метрическому пространству.  *Рекомендуемые источники: 8.1-8.5; 9.1. – 9.4.* | Выполнение практических заданий на компьютере, работа в группах (33% времени на интерактивные технологии). |
| Тема 9. Процессы в сетях: диффузия и пороговые модели | Случайное блуждание в сетях. Процессы в сетях, пороговые и каскадные модели в сетях.  Решение задач моделирования случайного блуждания в сетях, процессов эпидемий в сетях.  *Рекомендуемые источники: 8.1-8.5; 9.4* | Выполнение практических заданий на компьютере, работа в группах (33% времени на интерактивные технологии). |

# 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 темы (раздела) дисциплины** | **Вопросы для самостоятельной работы студентов** | **Формы внеаудиторной самостоятельной работы** |
| Тема 1. Базовые понятия теории сложных сетей и введение в библиотеку NetworkX | Знакомство с интерактивной оболочкой Jupyther notebook. Изучение принципов работы и применения для решения задач анализа сложных сетей.  Знакомство с базовыми возможностями библиотеки NetworkX и решение базовых задач подготовительных операций для выполнения анализа сложных сетей. | Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию. |
| Тема 2 Базовые метрики и свойства сетей и модели формирования случайных сетей | Решения задач определения степеней узлов сети, построения функции распределения степеней узлов сети и визуализации этого распределения. | Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию. |
| Тема 3 Модели роста сетей | Решение задач определения ассортативности в моделях роста сетей. Визуализация ассортативности на диаграммах. | Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию. |
| Тема 4 Модели тесного мира и самоподобные сети | Решение задач построения самоподобных сетей и расчёта их фрактальной размерности.  Латтисизация сетей и расчет критерия принадлежности сети к сетям малого мира. | Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию. |
| Тема 5 Работа с данными о сетях и графовые базы данных | Решение задач по импорту данных о сети в графовую базу данных neo4j, построение простых запросов к данным в neo4j. | Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию. |
| Тема 6 Метрики центральности в сетях | 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. |
| Тема 7. Сообщества в сетях | Решение задач на выявление сообществ алгоритмом Гирвана-Ньюмена. | Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию. |
| Тема 8. Визуализация сетей | Решение задач визуализации сетей с помощью силового размещения: алгоритма Фрюхтермана-Рейнгольда, алгоритм Камада-Каваи, алгоритм GraphOpt. | Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию. |
| Тема 9. Процессы в сетях: диффузия и пороговые модели | Решение задач моделирования порогового коллективного действия. | Работа с учебной литературой. Решение типовых задач. Разбор вопросов по теме занятия. Выполнение домашних заданий к каждому занятию. |

## 

## Перечень вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

***Примеры вопросов к контрольной работе***

1. Построение сложной сети по модели Барабаши-Альберта и построение распределения степеней узлов сети.
2. Построение сложной сети по случайному росту сети и построение распределения степеней узлов сети.
3. Построение самоподобной сложной сети и анализ ассортативности узлов сети с помощью диаграмм.
4. Построение сложной сети по модели Ваттса-Строгатца и анализ кластеризации и диаметра и средней длины пути в сети.
5. Разбиение сложной сети на сообщества с помощью алогритма Гирвана-Ньюмена.
6. Разбиение сложной сети на сообщества с помощью алгоритма Лоувэйна, на основе меры модулярности.

***Примеры заданий контрольной работы***

1. Постройте сложную сеть по модели Барабаши-Альберта с 1000 узлов и средней степенью узла 2. Для сети постройте распределение степеней узлов сети.
2. Постройте сложную сеть по модели по случайного роста сети с 500 узлов и средней степенью узла 2. Для сети постройте распределение степеней узлов сети.

3.Постройте самоподобную сложную сеть по модели u,v-цветка с не менее чем 200 узлами. Проведите визуальный анализ ассортативности узлов сети с помощью диаграммы.

4. Построение сложной сети по модели Ваттса-Строгатца с 500 узламив и проведите анализ (с помощью диаграммы) изменения кластеризации и диаметра и средней длины пути в сети при изменении p в диапазоне от 0 до 1.

1. Для одной из эмпирических сетей из репозитория с количеством узлов от 200 до 2000 проведите разбиение сети на сообщества с помощью алогритма Гирвана-Ньюмена.
2. Для одной из эмпирических сетей из репозитория с количеством узлов от 500 до 5000 проведите разбиение сложной сети на сообщества с помощью алгоритма Лоувэйна, на основе меры модулярности.

***Примерная тематика курсовой работы***

1. Анализ принадлежности эмпирической сети к сети тесного мира с помощью методов, основанных на латтисиции.
2. Анализ принадлежности эмпирической сети с пространственной привязкой узлов к сети тесного мира с помощью методов, основанных на геолаттисиции.
3. Решение задачи разбиения эмпирической сети на сообщества, основанное на алгоритме Гирвана-Ньюмена.
4. Решение задачи разбиения эмпирической сети на сообщества с помощью, основанное на меры модулярности и алгоритме Лоувэйна.
5. Анализ ассортативности узлов эмпирической сети на основе сравнения эмпирических данных с ключевыми моделями ТСС.
6. Фрактальная размерность сети: алгоритмы определения и определение размерности для реальных сетей.
7. Построение рекомендательного алгоритма на основе использования сетевого представления совместных приобретений и методов предсказания связей в сети.
8. Анализ распределения степеней узлов для эмпирических инфраструктурных сетей, поиск наиболее адекватных моделей распределения и их интерпретация.
9. Анализ иерархической структуры эмпирических сетей для онтологий.
10. Реализация алгоритмов построение самоподобных сетей и анализ ассортативности узлов для сгенерированных сетей.

**Критерии бальной оценки различных форм текущего контроля успеваемости**

Критерии бальной оценки различных форм текущего контроля успеваемости содержится в соответствующих методических рекомендациях Департамента анализа данных, принятия решений и финансовых технологий.

# Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по данной дисциплине

Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения в процессе освоения образовательной программы содержится в разделе 2. *«Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы 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.**

**2019, 2020 год приема**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Код компетенции** | **Наименование компетенции** | **Примеры заданий для оценки индикаторов достижения компетенции** |
| **ПКП-6** | Способность ставить и решать оптимизационные задачи в различных сферах экономики и финансов | 1. **Владеет оптимизационными методами, демонстрирует знание принципов и особенностей выбора оптимизационных методов в зависимости от поставленной задачи.**  **Задание 1.**  Из заданного класса (или конечного набора сетей) сетей выбрать оптимальную сеть с точки зрения устойчивости к случайным атакам.  **2.Разрабатывает оптимизационные модели в области экономики и финансов.**  **Задание 2.**  Сформулируйте задачу поиска в транзакционной сети узла, атака на который будет наиболее эффективна: выполнения атаки должно повлечь наиболее существенное увеличение средней длины пути в сети.  **3.Решает оптимизационные задачи в различных сферах экономики и финансов.**  **Задание 3.**  Сформулируйте задачу создания рекомендации товара для посетителя интернет-магазина на основе представления данных о товарах и покупках в виде сети. |

**2017, 2018 год приема**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Код компетенций** | **Наименование компетенций** | **Примеры заданий для оценки сформированности компетенций** |
| **ПК-5** | Способность осуществлять целенаправленный поиск информации о новейших научных и технологических достижениях в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и в других источниках | С помощью использования сети интернет найдите не менее 3х алгоритмов эмбеддинга узлов сетей, предложенных за последние 2 года. |
| **ПК-7** | Способность к разработке и применению алгоритмических и программных решений в области системного и прикладного программного обеспечения | Разработайте алгоритм построения сети тесного мира с помощью алгоритма Ваттса-Строгатца. |
| **ПКП-5** | Способность применять методы и инструменты анализа данных при подготовке аналитического обоснования финансово-экономических решений | С помощью аналитических инструментов ТСС выделите в сети экономических транзакций узел, обладающий наибольшими возможностями по осуществлению арбитража. |

***Примеры тестовых заданий***

**1. В сложной сети построенной по модели Барабаши-Альберта распределение степеней узлов стремится к:**

1) степенному закону распределения;

2) показательному закону распределения;

3) пуассоновскому закону распределения;

4) отрицательному биномиальному закону распределения.

**2. При построении сети «тесного мира» по модели Ваттса-Строгатца процесс перевязывания узлов на раннем этапе приводит к:**

1) быстрому росту кластеризации и быстрому уменьшению диаметра сети;

2) быстрому уменьшению диаметра сети;

3) быстрому снижению кластеризации сети;

4) быстрому уменьшению кластеризации и быстрому уменьшению диаметра сети;

**3. Какая из метрик центральности сети является локальной:**

1) центральность по собственному вектору;

2) центральность по посредничеству;

3) центральность по близости;

4) центральность по степени.

***Примеры заданий для зачета***

1. Реализовать алгоритм построения модифицированного алгоритма геометрического графа для плоскости.
2. Визуализировать построенную сеть с корректной привязкой узлов к координатам рисунка.
3. Визуализировать построенную сеть с корректной привязкой узлов к координатам рисунка и размером узлов, пропорционально их степени.
4. Для визуализированного графика построить (точечный) график плотности распределения степеней узлов (в обычной, полулогарифмической (логарифмической только по вертикальной оси) и логарифмической (по 2м осям) системе координат).
5. Построить (точечный) график плотности распределения степеней узлов в обычной системе координат.
6. Построить (точечный) график плотности распределения степеней узлов в полулогарифмической (логарифмической только по вертикальной оси) системе координат.
7. Построить (точечный) график плотности распределения степеней узлов в логарифмической (по 2м осям) системе координат.

# Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

**Нормативно-правовые акты**

1.Гражданский Кодекс Российской Федерации (часть четвертая) № 30-ФЗ  от 18.12.2006 г. (в редакции последующих законов).

2.Закон Российской Федерации «О государственной тайне» № 5485-1 от 21.07.1993 г. (в редакции последующих законов).

3.Федеральный Закон Российской Федерации «О коммерческой тайне» № 98-ФЗ от 29.07.2004 г. (в редакции последующих законов).

4.Федеральный Закон Российской Федерации «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» № 149-ФЗ от 27.07.2006 г.

**Основная литература**:

1. Северенс, Ч. Введение в программирование на Python / Ч. Северенс. — Москва: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. — 231 с. —ЭБС Университетская библиотека online. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book\_red&id=429184&sr=1 (дата обращения: 29.04.2020). – Текст : электронный.

2. Шелудько, В.М. Язык программирования высокого уровня Python. Функции, структуры данных, дополнительные модули: учебное пособие / В. М. Шелудько. - Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета (ЮФУ), 2017. - 107 с. – ЭБС ZNANIUM.com. - URL: https://new.znanium.com/catalog/product/1021664, http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=500060. (дата обращения: 29.04.2020) - Текст : электронный.

**Дополнительная литература:**

3. Гуриков, С. Р. Основы алгоритмизации и программирования на Python: учебное пособие / С.Р. Гуриков. - Москва: Издательство "ФОРУМ",ИНФРА-М, 2018 - 343 с. – ЭБС ZNANIUM.com. – URL: https://new.znanium.com/catalog/product/924699 (дата обращения: 29.04.2020) – Текст : электронный.

4.Сузи, Р.А. Язык программирования Python: курс / Р.А. Сузи. – Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2007. – 327 с. – ЭБС Университетская библиотека online.–http://biblioclub.ru/index.php?page=book\_red&id=233288&sr=1. (дата обращения: 29.04.2020).– Текст : электронный

1. Маккинли, У. Python и анализ данных / У. Маккинли ; пер. с англ. А.А. Слинкина. – Москва : ДМК Пресс, 2015. – 482 с.– URL: https://new.znanium.com/catalog/product/1027796 (дата обращения: 29.04.2020). – Текст : электронный

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

1. Pylru 1.0.9 [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://pypi.python.org/pypi/pylru>

2.Python Documentation [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <http://python.org/doc/>

3.Python Standard Library [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://docs.python.org/2/library/>

4.NetworkX [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <http://networkx.github.io/>

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

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

7. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека ОНЛАЙН» <http://biblioclub.ru/>

8. Электронно-библиотечная система Znanium http://www.znanium.com

9. Электронно-библиотечная система издательства «ЮРАЙТ» https://www.biblio-online.ru/

10. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» https://e.lanbook.com/ 1

11.Деловая онлайн-библиотека Alpina Digital <http://lib.alpinadigital.ru/>

12. Научная электронная библиотека eLibrary.ru http://elibrary.ru

13. Национальная электронная библиотека http://нэб.рф/

# 

# 10.Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

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.

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.

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

11. 1. Комплект лицензионного программного обеспечения:

1. Windows, Microsoft Office.

2. Антивирус ESET Endpoint Security

11.2. 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/

11.3. Сертифицированные программные и аппаратные средства защиты информации – не используются.

11.4.Браузер Google Chromе.

11.5.Дистрибутив языка Python 3.6 (или более поздней версии)

Anaconda 3.

11.6.Графовая СУБД Neo4j.

11.7.Пакет для работы с графами Gephi.

11.8.Для манипулирования с файлами файловый менеджер Far.

11.9.Архиватор.

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

Наличие аудитории, оснащенной компьютерами и постоянным доступом к сети «Интернет».

1. Заполняется при реализации актуализированных ОС ВО ФУ и ФГОС ВО3++ [↑](#footnote-ref-1)
2. Владения формулируются только при реализации ОС ВО ФУ первого поколения и ФГОС ВО 3+ [↑](#footnote-ref-2)