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.**

**ПРИКЛАДНЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ**

**ТЕОРИИ СЛОЖНЫХ СЕТЕЙ**

**Рабочая программа дисциплины**

для студентов, обучающихся

по направлению подготовки

01.04.02 «Прикладная математика и информатика»

направленность программы магистратуры

«Анализ больших данных и машинное обучение в экономике и финансах»

**Москва 2017**

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 «Рамблер ДС»  Технический директор  Р.В. Ширяев  21.11.2017 г. | **УТВЕРЖДАЮ**  Ректор Финуниверситета  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ М.А. Эскиндаров  28.11.2017 г. |

**ПРИКЛАДНЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ**

**ТЕОРИИ СЛОЖНЫХ СЕТЕЙ**

**Рабочая программа дисциплины**

для студентов, обучающихся

по направлению подготовки

01.04.02 «Прикладная математика и информатика»

направленность программы магистратуры

«Анализ больших данных и машинное обучение в экономике и финансах»

*Рекомендовано Ученым советом факультета*

*«Прикладная математика и информационные технологии»*

(*протокол № 48 от 21 ноября 2017 г.*)

*Одобрено Департаментом анализа данных, принятия решений и финансовых технологий*

*(протокол № 04 от 21 ноября 2017 г.)*

**Москва 2017**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Рецензент:** | | | **В. Г. Феклин** – к. ф-м. н., доцент департамента анализа данных, принятия решений и финансовых технологий. | | | | |
|  | **Макрушин С.В. «****Прикладные модели и методы теории сложных сетей».** Рабочая программа дисциплины для студентов, обучающихся по направлению подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» направленность программы магистратуры  «Анализ больших данных и машинное обучение в экономике и финансах». – М.: Финансовый университет, Департамент анализа данных, принятия решений и финансовых технологий», 2017. – 36 с. | | | | | | | |
| Дисциплина «Прикладные модели и методы теории сложных сетей» является обязательной дисциплиной направленности программы магистратуры «Анализ больших данных и машинное обучение в экономике и финансах», которая входит в образовательную программу высшего образования по направлению подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» профиль «Анализ больших данных и машинное обучение в экономике и финансах».  Дисциплина «Прикладные модели и методы теории сложных сетей» 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. | | | | | | | |
| *Учебное издание* | | | | | | | |
| ***Сергей Вячеславович Макрушин*** | | | | | | | |
| **Прикладные модели и методы теории сложных сетей** | | | | | | | |
| Рабочая программа дисциплины | | | | | | | |
| Компьютерный набор, верстка | | | | | И.С. Демин |
| Формат 60x90/16. Гарнитура *Times New Roman* | | | | | | | |
| Усл. п.л. 1,0. Изд. № - 2017. Тираж - экз. | | | | | | | |
| Заказ № \_\_\_\_\_\_ | | | | | | | |
| Отпечатано в Финансовом университете | | | | | | | |
|  | | **©** | **Макрушин Сергей Вячеславович, 2017** | | | | |
|  | | **©** | **Финансовый университет, 2017** | | | | |

**Содержание**

[1. Наименование дисциплины 4](#_Toc500853929)

[2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 4](#_Toc500853930)

[3. Место дисциплины в структуре образовательной программы 5](#_Toc500853931)

[5. Содержание дисциплины 6](#_Toc500853932)

[5.1. Содержание дисциплины 6](#_Toc500853933)

[5.2. Учебно-тематический план 10](#_Toc500853934)

[5.3. Содержание практических и семинарских занятий 11](#_Toc500853935)

[Решение задач по применению алгоритма PageRank для реальных и сгенерированных сетей. 14](#_Toc500853936)

[6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы. 16](#_Toc500853937)

[7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине: 18](#_Toc500853938)

[8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины: 30](#_Toc500853939)

[9. Перечень ресурсов сети «Интернет». 31](#_Toc500853940)

[10. Методические указания по освоению дисциплины. 32](#_Toc500853941)

[11. Используемые информационные технологии. 32](#_Toc500853942)

[12. Материально-техническая база образовательного процесса. 33](#_Toc500853943)

# 1. Наименование дисциплины

Б.1.2.2.3. «Прикладные модели и методы теории сложных сетей».

# 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

**Таблица 1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ДКМП-4 – способность строить рекомендательные системы и применять их к решению практических задач** | | |
| ***Знания*** | ***Умения*** | ***Владения*** |
| Знать технологии интеллектуального анализа данных и машинного обучения. | Уметь обосновывать и принимать решения с помощью технологий интеллектуального анализа данных и машинного обучения. | Владеть технологиями интеллектуального анализа данных и машинного обучения. |
| **ОПК-3 – обладать способностью самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение** | | |
| ***Знания*** | ***Умения*** | ***Владения*** |
| Знать техники и технологии самостоятельного приобретения и использования в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, знать способы расширения и углубления своего научного мировоззрения | Уметь самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, уметь расширять и углублять свое научное мировоззрение | Владеть способностью самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, владеть навыками расширения и углубления своего научного мировоззрения |
| **ПК-3 – обладать способностью разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач научной и проектно-технической деятельности** | | |
| ***Знания*** | ***Умения*** | ***Владения*** |
| Знать методы разработки и применения математических методов, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной и проектно-технической деятельности. | Уметь разрабатывать и применять математические методы, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной и проектно-технической деятельности | Владеть методами разработки и применения математических методов, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной и проектно-технической деятельности |

# 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Прикладные модели и методы теории сложных сетей» является обязательной дисциплиной направленности программы магистратуры «Анализ больших данных и машинное обучение в экономике и финансах» направления подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика».

Для изучения дисциплины «Прикладные модели и методы теории сложных сетей» необходимы знания, умения и компетенции, которые получены при изучении программирования и информатики, математики, дискретной математики, теории вероятностей, алгоритмизации и программирования, полученные студентами в рамках бакалавриата.

**4. Объем дисциплины**

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётных единицы.

**Таблица 2**

|  |  |
| --- | --- |
| Вид учебной работы по дисциплине | 2017 г. приема  (в з/е и часах)  4 модуль |
| **Общая трудоемкость дисциплины** | **3/108** |
| **Аудиторные занятия** | **40** |
| Лекции | 10 |
| Практические и семинарские занятия, в т.ч. | 30 |
| *занятия в интерактивной форме* | *10* |
| **Самостоятельная работа** | **68** |
| Вид текущего контроля | контрольная работа |
| Вид промежуточной аттестации | экзамен |

# 5. Содержание дисциплины

## 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 самопдобных 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.

***Тема 10. Сети с пространственной привязкой***

Сети с пространственной привязкой и планарные сети. Эмпирические сети с пространственной привязкой. Длина связей. Модели сетей с пространственной привязкой: геометрический граф, пространственно-оптимальные сети, пространственные варианты «тесного мира» и моделей роста сетей. Процессы в пространственных сетях.

## 5.2. Учебно-тематический план

**Таблица 3**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **п/п** | **Наименование темы**  **дисциплины** | **Трудоёмкость в часах** | | | | | | | **ФТКУ** | |
| **В\*** | **Аудиторная работа** | | | | **СР** |  | |
| О | Л | ПСЗ | ЗИФ |
| *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *9* | *9* | |
| 1. | Базовые понятия теории сетей и введение в библиотеку NetworkX | 10 | 4 | 1 | 3 | 1 | 6 | УО, ППЗ | |
| 2. | Базовые метрики и свойства сетей и модели формирования случайных сетей | 10 | 4 | 1 | 3 | 1 | 6 | УО, ППЗ | |
| 3. | Модели роста сетей | 11 | 4 | 1 | 3 | 1 | 7 | УО, КР, ППЗ | |
| 4. | Модели тесного мира и самоподобные сети | 11 | 4 | 1 | 3 | 1 | 7 | УО, ППЗ | |
| 5. | Работа с данными о сетях и графовые базы данных | 11 | 4 | 1 | 3 | 1 | 7 | УО, ППЗ | |
| 6. | Метрики центральности в сетях | 11 | 4 | 1 | 3 | 1 | 7 | УО, КР | |
| 7. | Сообщества в сетях | 11 | 4 | 1 | 3 | 1 | 7 | УО, ППЗ | |
| 8. | Визуализация сетей | 11 | 4 | 1 | 3 | 1 | 7 | УО, ППЗ | |
| 9. | Процессы в сетях: диффузия и пороговые модели | 11 | 4 | 1 | 3 | 1 | 7 | УО, ППЗ | |
| 10. | Сети с пространственной привязкой | 11 | 4 | 1 | 3 | 1 | 7 | УО, ППЗ | |
|  | **ИТОГО:** | **108** | **40** | **10** | **30** | **10(33%)** | **68/ 68** |  | |

\*Сокращения в таблице: **В** – Всего; **О** – Общая; **Л** – Лекции; **ПСЗ** - практические и семинарские занятия; **ЗИФ** – занятия в интерактивных формах; **ФТКУ** – формы текущего контроля успеваемости; **Т** – тестирование; **УО** – устный опрос; **ППЗ** – проверка практических заданий, **КР** – домашняя контрольная работа

## 5.3. Содержание практических и семинарских занятий

Целью проведения практических занятий является освоение инструментальных средств и технологий, приобретение студентами навыков применения инструментальных средств для решения задач анализа сложных сетей.

Темы практических занятий приведены в табл. 4.

В качестве интерактивной формы обучения используется метод мозгового штурма, дерево решений (для выбора наилучшего варианта), обсуждение в группах (группа из двух студентов).

Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование темы (раздела) дисциплины | Тематика практических и/ или семинарских занятий | Содержание  практических и/ или семинарских занятий | Формы проведения занятий (с указанием % занятий, проводимых в интерактивной форме) | Вопросы для самостоятельной работы студентов | Рекомендуемые источники из разделов 8,9 |
| 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 библитоеке NetworkX. | Индивидуальное выполнение заданий, групповой разбор результатов выполнения заданий (33% времени на интерактивные технологии) | 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. | 8.1;  9.1;  9.2;  9.3;  9.4 |
| 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. | Индивидуальное выполнение заданий, групповой разбор результатов выполнения заданий (33% времени на интерактивные технологии) | Решения задач определения степеней узлов сети, построения функции распределения степеней узлов сети и визуализации этого распределения. | 8.2; 8.3;  8.4; 8.5; 8.6; 8.7;  9.4 |
| 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. | Индивидуальное выполнение заданий, групповой разбор результатов выполнения заданий (33% времени на интерактивные технологии) | Решение задач определения ассортативности в моделях роста сетей. Визуализация ассортативности на диаграммах. | 8.2; 8.3; 8.5; 8.6; 8.7;  9.4 |
| 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). | Индивидуальное выполнение заданий, групповой разбор результатов выполнения заданий (33% времени на интерактивные технологии) | Решение задач построения самоподобных сетей и расчёта их фрактальной размерности.  Латтисизация сетей и расчет критерия принадлежности сети к сетям малого мира. | 8.2; 8.3; 8.5; 8.6; 8.7;  9.4 |
| 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 импрорта данных о сетях, сбора данных о сетях из открытых источников. Работа с сетью как со структурой property graph. | Индивидуальное выполнение заданий, групповой разбор результатов выполнения заданий (33% времени на интерактивные технологии) | Решение задач по импорту данных о сети в графовую базу данных neo4j, построение простых запросов к данным в neo4j. | 8.1;  9.1;  9.2;  9.3;  9.4 |
| 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). | Индивидуальное выполнение заданий, групповой разбор результатов выполнения заданий (33% времени на интерактивные технологии) | Решение задач по применению алгоритма PageRank для реальных и сгенерированных сетей. | 8.2; 8.3; 8.5; 8.6; 8.7;  9.4 |
| 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. | Выполнение практических заданий на компьютере, работа в группах (33% времени на интерактивные технологии). | Решение задач на выявление сообществ алгоритмом Гирвана-Ньюмена. | 8.2; 8.3; 8.5; 8.6; 8.7;  9.4 |
| 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. | Выполнение практических заданий на компьютере, работа в группах (33% времени на интерактивные технологии). | Решение задач визуализации сетей с помощью силового размещения: алгоритма Фрюхтермана-Рейнгольда, алгоритм Камада-Каваи, алгоритм GraphOpt. | 8.1;  9.1;  9.2;  9.3;  9.4 |
| 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. | Выполнение практических заданий на компьютере, работа в группах (33% времени на интерактивные технологии). | Решение задач моделирования порогового коллективного действия. | 8.2; 8.3; 8.5; 8.6; 8.7;  9.4 |
| Тема 10. Сети с пространственной привязкой | Сети с пространственной привязкой и планарные сети. Модели сетей с пространственной привязкой. Процессы в пространственных сетях. | Решение задач построения моделей сетей с пространственной привязкой: геометрического граф, пространственно-оптимальных сетей. | Выполнение практических заданий на компьютере, тематическая дискуссия (33% времени на интерактивные технологии). | Решение задач построения моделей сетей с пространственной привязкой: пространственных вариантов «тесного мира» и моделей роста сетей | 8.2; 8.3; 8.5; 8.6; 8.7;  9.4 |

# 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы.

**6.1. Формы внеаудиторной самостоятельной работы.**

| **№**  **п/п** | **НТ\*** | **ФВСТ** | **Т/Ч** | **Материал для самостоятельного освоения** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | Базовые понятия теории сложных сетей и введение в библиотеку NetworkX | РЛ, РЭИ, РАП | 6 | 1) Знакомство с интерактивной оболочкой Jupyther notebook. Изучение принципов работы и применения для решения задач анализа сложных сетей.  2) Знакомство с базовыми возможностями библиотеки NetworkX и решение базовых задач подготовительных операций для выполнения анализа сложных сетей. |
| 2. | Базовые метрики и свойства сетей и модели формирования случайных сетей | РЛ, РЭИ, РАП | 6 | 1) Решение задач определения степеней узлов сети.  2) Построения функции распределения степеней узлов сети и визуализации этого распределения. |
| 3. | Модели роста сетей | РЛ, РЭИ,  РАП | 7 | 1) Решение задач определения ассортативности в моделях роста сетей.  2) Визуализация ассортативности на диаграммах. |
| 4. | Модели тесного мира и самоподобные сети | РЛ, РЭИ,  РАП | 7 | 1) Решение задач построения самоподобных сетей и расчёта их фрактальной размерности.  2) Латтисизация сетей и расчет критерия принадлежности сети к сетям малого мира. |
| 5. | Работа с данными о сетях и графовые базы данных | РЛ, РЭИ,  РАП | 7 | 1) Решение задач по импорту данных о сети в графовую базу данных neo4j.  2) Построение простых запросов к данным в neo4j. |
| 6. | Метрики центральности в сетях | РЛ, РЭИ,  РАП | 7 | 1) Решение задач по применению алгоритма PageRank для реальных и сгенерированных сетей. |
| 7. | Сообщества в сетях | РЛ, РЭИ,  РАП | 7 | 1) Решение задач на выявление сообществ алгоритмом Гирвана-Ньюмена. |
| 8. | Визуализация сетей | РЛ, РЭИ,  РАП | 7 | 1) Решение задач визуализации сетей с помощью силового размещения: алгоритма Фрюхтермана-Рейнгольда.  2) Решение задач визуализации сетей с помощью силового размещения: алгоритма Камада-Каваи.  3) Решение задач визуализации сетей с помощью силового размещения: алгоритма GraphOpt. |
| 9. | Процессы в сетях: диффузия и пороговые модели | РЛ, РЭИ,  РАП | 7 | 1) Решение задач моделирования порогового коллективного действия. |
| 10. | Сети с пространственной привязкой | РЛ, РЭИ,  РАП | 7 | 1) Решение задач построения моделей сетей с пространственной привязкой: пространственных вариантов «тесного мира» и моделей роста сетей |
| **ИТОГО:** | | | **68** |  |

\* Сокращения в таблице: **НТ** – Номера тем; **ФВСТ** – Формы внеаудиторной самостоятельной работы; **Т/Ч** – Трудоемкость в часах; **РЛ** – работа с литературой; **РЭИ** – работа с электронными источниками; **РАП** – разработка алгоритмов и программ.

**6.2. Методическое обеспечение для аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работы.**

Тематика внеаудиторной самостоятельной работы: контрольной работы (КР), соответствует содержанию дисциплины, и определяется преподавателем.

Примерная тема домашней контрольной работы: «Анализ свойств сложных сетей, построенных на данных из открытых источников: выявление ключевых узлов и сообществ».

Для выполнения домашней контрольной работы необходимо повторить материалы лекций и семинаров. Результат контрольной работы должен в согласованные сроки быть передан преподавателю в электронной форме в виде файла ipynb (файла Jupyther notebook). Перед решением обязательно должно быть размещено условие задачи.

Тексты лекций, задания на самостоятельную работу, примеры решения типовых задач, а также вспомогательные материалы находятся на преподавательском диске, доступном студентам.

Для проведения тестирования используется комплекс тестовых заданий, разработанных для каждой темы. Результаты тестирования, устных опросов, контрольных работ и т.д. фиксируются в ведомостях преподавателя, которые находятся на преподавательском диске.

Для каждой темы разработаны дополнительные задачи, решение которых в инициативном порядке могут выполнять студенты. Преподаватель за каждые N самостоятельно решенных задач может выставлять дополнительно M баллов.

Рабочая версия интегрированной среды анализа, используемая при решении задач (реализации алгоритмов), а также соответствующая документация находятся в открытом доступе в сети Интернет и доступны для скачивания, инсталляции и использования в соответствии с принятой процедурой регистрации.

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

***7.1. перечень компетенций, формируемых в процессе освоения дисциплины***

Перечень компетенций, формируемых в процессе освоения дисциплины содержится в разделе 2.

***7.2. описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.***

***ДКМП-4 – способность строить рекомендательные системы и применять их к решению практических задач***

**Оценка уровня сформированности компетенции**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Показатели***  ***Оценивания*** | ***Критерии оценивания***  ***компетенций*** | ***Шкала***  ***оценивания*** |
| **Знать** технологии интеллектуального анализа данных и машинного обучения.  **Уметь** обосновывать и принимать решения с помощью технологий интеллектуального анализа данных и машинного обучения.  **Владеть** технологиями интеллектуального анализа данных и машинного обучения. | **Знать** технологии интеллектуального анализа данных и машинного обучения. | ***Пороговый***  ***уровень*** |
| **Знать** технологии интеллектуального анализа данных и машинного обучения.  **Уметь** обосновывать и принимать решения с помощью технологий интеллектуального анализа данных и машинного обучения. | ***Продвинутый уровень*** |
| **Знать** технологии интеллектуального анализа данных и машинного обучения.  **Уметь** обосновывать и принимать решения с помощью технологий интеллектуального анализа данных и машинного обучения.  **Владеть** технологиями интеллектуального анализа данных и машинного обучения. | ***Высокий***  ***уровень*** |

***ОПК-3 – обладать способностью самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение;***

**Оценка уровня сформированности компетенции**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Показатели***  ***оценивания*** | ***Критерии оценивания***  ***компетенций*** | ***Шкала***  ***оценивания*** |
| **Знать** техники и технологии самостоятельного приобретения и использования в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, знать способы расширения и углубления своего научного мировоззрения.  **Уметь** самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, уметь расширять и углублять свое научное мировоззрение.  **Владеть** способностью самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, владеть навыками расширения и углубления своего научного мировоззрения. | **Знать** техники и технологии самостоятельного приобретения и использования в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, знать способы расширения и углубления своего научного мировоззрения. | ***Пороговый уровень*** |
| **Знать** техники и технологии самостоятельного приобретения и использования в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, знать способы расширения и углубления своего научного мировоззрения.  **Уметь** самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, уметь расширять и углублять свое научное мировоззрение. | ***Продвинутый***  ***уровень*** |
| **Знать** техники и технологии самостоятельного приобретения и использования в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, знать способы расширения и углубления своего научного мировоззрения.  **Уметь** самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, уметь расширять и углублять свое научное мировоззрение.  **Владеть** способностью самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, владеть навыками расширения и углубления своего научного мировоззрения. | ***Высокий уровень*** |

***ПК-3 – обладать способностью разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач научной и проектно-технической деятельности;***

**Оценка уровня сформированности компетенции**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Показатели***  ***оценивания*** | ***Критерии оценивания***  ***компетенций*** | ***Шкала***  ***оценивания*** |
| **Знать** методы разработки и применения математических методов, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной и проектно-технической деятельности.  **Уметь** разрабатывать и применять математические методы, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной и проектно-технической деятельности.  **Владеть** методами разработки и применения математических методов, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной и проектно-технической деятельности. | **Знать** методы разработки и применения математических методов, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной и проектно-технической деятельности. | ***Пороговый***  ***уровень*** |
| **Знать** методы разработки и применения математических методов, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной и проектно-технической деятельности.  **Уметь** разрабатывать и применять математические методы, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной и проектно-технической деятельности. | ***Продвинутый уровень*** |
| **Знать** методы разработки и применения математических методов, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной и проектно-технической деятельности.  **Уметь** разрабатывать и применять математические методы, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной и проектно-технической деятельности.  **Владеть** методами разработки и применения математических методов, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной и проектно-технической деятельности. | ***Высокий***  ***уровень*** |

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена.

Если дисциплина формирует несколько компетенций, то выводится средний балл, который является оценкой уровня освоения дисциплины в зачётно-экзаменационную сессию.

**7.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, владений.**

**Примеры типовых контрольных заданий**

Построение сложной сети по модели Барабаши-Альберта и построение распределения степеней узлов сети.

Построение сложной сети по случайного роста сети и построение распределения степеней узлов сети.

Построение самоподобной сложной сети и анализ ассортативности узлов сети с помощью диаграмм.

Построение сложной сети по модели Ваттса-Строгатца и анализ кластеризации и диаметра и средней длины пути в сети.

Разбиение сложной сети на сообщества с помощью алогритма Гирвана-Ньюмена.

Разбиение сложной сети на сообщества с помощью алгоритма Лоувэйна, на основе меры модулярности.

**Пример типовых тестовых вопросов**

**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 пересвязывания 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.

**7.4. методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и владений.**

7.4.1. Общие положения.

Базовым инструментом оценки уровня формирования всех рассмотренных в параграфе 2 компетенций, получение которых студентом предполагается в результате изучения дисциплины, является рассматриваемый в параграфе 7.2 механизм формирования оценок уровня достижения теоретической части компетенций.

В дополнение к нему используется рассматриваемый в параграфе 7.3 механизм формирования оценок уровня достижения прикладной части компетенций и коэффициента деформации экзаменационных баллов.

Порядок формирования баллов экзаменационной оценки на основе результатов итогового тестирования и коэффициента деформации экзаменационных баллов, а также вывода итоговой оценки рассматривается в параграфе 7.4.

7.4.2. Механизм формирования оценок уровня достижения теоретической части компетенций.

Данный механизм используется для получения базовых оценок уровня достижения всех предполагаемых дисциплиной компетенций. Он основан на рассматриваемой ниже методике сбора и обобщения результатов тестирования и устных опросов студентов, проводимых на семинарских и практических занятиях, а также фиксируемых по результатам самостоятельной работы.

Устные опросы по каждой теме проводятся на каждом из перечисленных в параграфе 5.3 семинарских и практических занятий. На первом практическом занятии по новой теме проводится тестирование по предыдущей теме. Результаты тестирования фиксируются в ведомости преподавателя.

Тестовый вопрос может содержать один или несколько правильных ответов. Ответ на каждый тестовый вопрос оценивается по следующим принципам. Если ответ на тестовое задание верен (выбраны все правильные ответы), то засчитывается 3 балла. Если выбрано более 50% или более правильных ответов, но не все, то засчитывается 2 балла. Если выбрано менее 50% правильных ответов, то засчитывается 1 балл. Если выбран хотя бы один неправильный ответ, то засчитывается 0 баллов. Оценки за каждый тестовый вопрос суммируются и приводятся к 20-бальной шкале.

При устном опросе преподаватель задает студенту несколько вопросов и, на основании качества представленных ответов, по каждому вопросу выставляет оценку.

Также преподаватель может оценивать активность студентов при работе за компьютером во время практических занятий.

По совокупности результатов тестирования, контрольных работ, устных ответов и активности студента выводится промежуточный средний балл оценки знаний по шкале и методике, принятой в Университете.

Для оценки достижения перечисленных выше компетенций данный механизм является исчерпывающим.

7.4.3. Механизм формирования оценок уровня достижения прикладной части компетенций.

Для оценки уровня достижения компетенций существенное значение имеет оценка практических навыков, приобретенных студентом в процессе изучения дисциплины. Инструментарий формирования оценки практических навыков основан на выставлении преподавателем оценок (баллов) за качество выполнения практических заданий, реализуемых студентом в процессе самостоятельной работы.

Качество реализации разработанных студентами программ оценивается преподавателем большей частью во внеаудиторное время. Для этого студенты пересылают на Google-диск преподавателя созданные проекты, а также дополнительные материалы, касающиеся реализации поставленных задач. Преподаватель проводит их оценку и может отправить студенту замечания для выполнения доработок.

7.4.4. Механизм формирования зачетных баллов и вывода окончательной оценки.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета. На зачете осуществляется комплексная проверка теоретических знаний и практических навыков решения прикладных задач. Теоретические знания оцениваются по результатам ответа на тестовые вопросы (максимальный балл – 100 баллов). Практические навыки оцениваются по 100-бальной шкалe в соответствии с требованиями, предъявляемыми к ответу:

|  |  |
| --- | --- |
| **Требования к ответу** | **Балл** |
| 1. Практическое задание выполнено с применением необходимых аналитических технологий и соответствующих инструментов.  2. При применении инструментов обоснованно настроены все настраиваемые параметры.  3. По результатам анализа сформированы все необходимые визуальные представления.  4. Все результаты верно интерпретированы. | 86-100  отлично (зачтено) |
| Не выполнены требования на оценку «отлично», при этом:  1. Практическое задание выполнено с применением необходимых аналитических технологий.  2. При применении инструментов разумно настроены основные настраиваемые параметры.  3. По результатам анализа сформированы наиболее важные визуальные представления.  4. Основные результаты верно интерпретированы. | 70-85  хорошо (зачтено) |
| Не выполнены требования на оценку «хорошо», при этом:  1. Практическое задание выполнено с применением необходимых аналитических технологий.  2. По результатам анализа сформированы некоторые визуальные представления.  3. Верно интерпретированы хотя бы отдельные результаты. | 50-70  удовлетвори­тельно (зачет) |
| Присутствует хотя бы один из перечисленных ниже недочетов:  1. Студент не может применить необходимые аналитические технологии. Результаты не получены.  2. Студент не может провести визуализацию результатов так, чтобы их можно было интерпретировать.  3. Студент не может дать ни одной верной интерпретации результатов. | 0-49  неудовлетворительно (зачет) |

По результатам текущего контроля и работы на занятиях в течение модуля выставляется оценка: Т40.

Оценка текущего контроля Т40 определяется как 0,4∙Т100 с последующим округлением до целого по арифметическим правилам.

На экзамене осуществляется проверка теоретических знаний и практических навыков студентов. Оценка за тестовую часть определяется как З1 = 0,3∙З100 с последующим округлением до целого по арифметическим правилам. Оценка за практическую часть определяется как З2 = 0,3∙З100 с последующим округлением до целого по арифметическим правилам. Итоговая оценка И= Т140 + 3130+ 3230.

Если по уважительной причине отсутствует оценка текущего контроля, то оценки за зачетную работу вычисляются как 0,5∙З1100 и 0,5∙З2100 . И=3150 +3250.

Итоговые результаты промежуточной аттестации оцениваются по таблице:

|  |  |
| --- | --- |
| **Требования к результатам освоения дисциплины** | **Экзамен** |
| И < 50 | не зачет |
| 50≤ И < 70 | зачет |
| 70≤ И < 86 | зачет |
| И ≥ 86 | зачет |

# 8. 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***:*

1. Северенс Ч. Введение в программирование на Python [Электронный ресурс]/ Ч. Северенс. — Москва: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. — 231 с. — Режим доступа: http://biblioclub.ru

**Дополнительная***:*

1. Сузи Р.А. Язык программирования Python [Электронный ресурс]: курс / Р.А. Сузи. – Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2007. – 327 с. – Режим доступа: http://biblioclub.ru
2. Гуриков С.Р. Основы алгоритмизации и программирования на Python [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.Р. Гуриков. — Москва: Форум: Инфра-М, 2017. — 343 с. — Режим доступа: http://znanium.com

# 9. Перечень ресурсов сети «Интернет».

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/ (http://library.fa.ru/files/elibfa.pdf)
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. «Деловая онлайн библиотека» издательства «Альпина Паблишер» http://lib.alpinadigital.ru/en/library
10. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» https://e.lanbook.com/
11. Электронно-библиотечная система издательства «ЮРАЙТ» https://www.biblio-online.ru/
12. Научная электронная библиотека eLibrary.ru http://elibrary.ru

# 10. Методические указания по освоению дисциплины.

10.1 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.

10. 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.

# 11. Используемые информационные технологии.

11.1. Для обеспечения взаимодействия преподавателя и студентов используется внутренняя компьютерная сеть вуза.

11.2. Для хранения своих материалов каждому студенту предоставляется сетевая папка. Результаты выполненных заданий должны быть записаны в эту папку.

11.3. Преподавателю также предоставляется сетевая папка tasks. Студентам эта папка доступна только для чтения. В эту папку преподаватель выкладывает задания, методические указания, дополнительные материалы.

# 12. Материально-техническая база образовательного процесса.

12.1. Для проведения лекций и практических занятий необходима аудитория, оснащенная проектором и компьютерами с постоянным подключением к сети Интернет.

На компьютеры преподавателя и студентов должно быть установлено следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Windows 7 и выше.
2. Браузер Google Chromе.
3. Дистрибутив языка Python 3.6 (или более поздней версии) Anaconda 3.
4. Графовая СУБД Neo4j.
5. Пакет для работы с графами Gephi.
6. Для манипулирования с файлами файловый менеджер Far.
7. Архиватор.
8. Пакет MS Office.