

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Структурное подразделение «Брикс кафедры»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №15 от 18 марта 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«КОМПЛЕКСНЫЕ СЕТИ / COMPLEX NETWORKS»

Направление: 09.03.01 Информатика и вычислительная техника

Искусственный интеллект и компьютерные науки /Artificial Intelligence and Computer
Science

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной подписью Составитель программы: Труфанов Андрей Иванович Дата подписания: 17.06.2025
--

Документ подписан простой электронной подписью Утвердил: Киреенко Анна Павловна Дата подписания: 17.06.2025

Документ подписан простой электронной подписью Согласовал: Афанасьев Александр Диомидович Дата подписания: 17.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Комплексные сети / Complex networks» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ОПК ОС-11 Способность применять знания аппаратной части ЭВМ и систем, сетевого оборудования при решении задач профессиональной деятельности	ОПК ОС-11.2
ОПК ОС-3 Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	ОПК ОС-3.1

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ОПК ОС-3.1	Способен производить проектирование и настройку информационной инфраструктуры с учетом основных требований информационной безопасности	Знать Знать методы и модели сетевого анализа в решении стандартных задач технологической сферы. Уметь Уметь конвертировать данные, описывающие сетеподобные и несетеподобные системы, проводить анализ решения задач в области профессиональной деятельности. Владеть Владеть инструментами расчета метрик и топологической устойчивости комплексных сетей.
ОПК ОС-11.2	Способен понимать и использовать на практике топологические свойства комплексных сетей при решении профессиональных задач	Знать Знать основные сведения в области науки о сетях в области, представленные в современном информационном пространстве. Уметь Уметь профессионально вести поиск разработок в сетевой области, опубликованных в открытой печати. Владеть Владеть инструментами сетевой визуализации технологических систем.

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Комплексные сети / Complex networks» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Математика / Mathematics»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Искусственный интеллект в информационной безопасности / Artificial Intelligence in Information Security», «Производственная практика: преддипломная практика / Manufacturing Practice: Undergraduate Practice», «Распознавание речи, обработка аудио сигналов / Speech Recognition, Audio Signal Processing»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 4
Общая трудоемкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	54	54
лекции	18	18
лабораторные работы	0	0
практические/семинарские занятия	36	36
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	54	54
Трудоемкость промежуточной аттестации	0	0
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет	Зачет

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 4

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Введение в комплексные сети	1	2			1	4			Устный опрос
2	Сетевые метрики	2	2			2	4			Устный опрос
3	Алгоритмы генерации сетей	3	2			3	4			Устный опрос
4	Сетевое представление сетеподобных систем	4	2			4	4	3	6	Устный опрос
5	Топологическая устойчивость сетевых структур	5	2			5	4			Устный опрос
6	Трансформация неструктурированных данных в комплексные сети	6	2			6, 7	8	2	34	Устный опрос
7	Многослойные	7	2			9	4			Устный

	сети									опрос
8	Практические примеры сетевых структур	8	2			8	4	1	14	Устный опрос
9	Инструменты сетевого анализа	9	2							Устный опрос
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		18				36		54	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 4

№	Тема	Краткое содержание
1	Введение в комплексные сети	Отличие сетей и графов. История науки о сетях. Математические инструменты для сетей. Графы: вершины, рёбра, направленные графы, ориентированные графы, взвешенные графы, невзвешенные графы, псевдографы, мультиграфы, гиперграфы,. Степень, распределение степеней. Узлы, связи, связность. Фрактальная геометрия , размерность Хаусдорфа. Линейная алгебра для графов и сетей: список ребер, список смежности, матрица смежности, собственные векторы матрицы и собственные значения.
2	Сетевые метрики	Размер сети. Эксцентриситет. Диаметр, радиус сети. Средняя геодезическая. Коэффициент кластеризации, локальный и глобальный. Средний коэффициент локальной кластеризации. Модулярность. Ассортативность и дисассортативность. Центральности. Центральность по степени, центральность по близости, проблемы центральности по близости, центральность мостовая, центральность по собственному вектору, центральность Каца, α - центральность, PageRank. Хабы и авторитеты. Центральность графа: с точки зрения степеней, близости и промежуточности. Минимальный остов. Связность: гигантская компонента.
3	Алгоритмы генерации сетей	Случайные сети: модель Эрдеша –Реньи, сети малого мира : формальное определение как сети, в которой среднее кратчайшее расстояние между парой узлов пропорционально логарифму размера сети, сети безмасштабные, сети Ваттса-Строгатца; Процесс предпочтительного присоединения (preferential attachment, PA)- это любой из класса процессов, в которых некоторое количество, обычно некая форма ресурсов, распределяется между несколькими акторами или объектами в зависимости от того, сколько у них уже есть ресурса, так что те, кто уже «богат», получают больше чем те, кто «беднее». Основная причина

		<p>научного интереса к предпочтительному присоединению в науке о сетях заключается в том, что оно может при подходящих обстоятельствах генерировать степенные распределения. Модели предпочтительного присоединения Модель Барабаши Альберт . Сообщества в комплексных сетях. Сообщества, группы, кластеры. Обнаружено, что сложные системы естественным образом разделены на несколько модулей или сообществ. В сетевом представлении эти модули описываются как группы плотно соединенных узлов с разреженными соединениями с узлами других групп</p>
4	Сетевое представление сетеподобных систем	<p>Сетевые модели для технологического домена: приложения на транспорте , модели L- и P- : в обоих форматах наборы узлов остаются эквивалентными, например, автобусные остановки, станции метро или железнодорожные станции, тогда как шаблоны наборов звеньев различны. В формате L-пространства каждая пара последовательных соседних узлов, лежащих вдоль маршрута, считается соединенной линией связи. Противоположно, P-пространство предполагает, что все узлы, принадлежащие одному маршруту, соединены линиями связи и таким образом составляют клику. Таким образом, формат L-пространства эффективен для понимания взаимосвязи между станциями (узлами) в целом, а P-пространство способствует изучению перемещений между различными маршрутами в транспортной системе.</p>
5	Топологическая устойчивость сетевых структур	<p>Уязвимость сетей: сбои, каскады, время существования повреждений, риски, стратегии атак, стратегии защиты, восстановление; Устойчивость безмасштабных сетей к случайным сбоям, уязвимость к целевым террористическим атакам. Надежность физических сетей, в том числе телекоммуникационных, сетей иной топологии, важной для критической инфраструктуры. В сетевой системе воздействие локальной угрозы нарушения ее функционирования может легко распространиться на всю систему из-за каскадного эффекта и в конечном итоге перерасти в крупномасштабную катастрофу. Обнаружение чувствительных мест в сетях критической инфраструктуры , реализация эффективных стратегий защиты от внешних и внутренних вредоносных событий.</p>
6	Трансформация неструктурированных	<p>Онтологии конвертирования несетеподобных данных в сети. Преобразование временных рядов</p>

	данных в комплексные сети	в сети. Таксономия алгоритмов отображения временных рядов в сложные сети основана на размерности временных рядов, результирующей структуре сети, концепции отображения и основных методах отображения. Одномерные отображения : алгоритмы видимости. Алгоритмы прямой и горизонтальной видимости.
7	Многослойные сети	В многослойных сетях узлы организованы в слои, и ребра могут соединять узлы в одном слое (внутрислойные ребра) или узлы в разных слоях (межслойные ребра). Взаимосвязанная сеть образована слоями, с межслойными ребрами, соединяющими разных акторов различных слоев. Мультиплексы. Мультиплексная сеть образована слоями, с межслойными ребрами, соединяющими один и тот же актор в различных слоях. Многие реальные сложные системы могут быть эффективно моделируются как мультиплексные сети, где одни и те же акторы связаны в нескольких уровнях. Примеры включают социальные сети между отдельными лицами на нескольких платформах социальных сетей и транспортные сети между городами на основе воздушных, железнодорожных и автомобильных сетей. Взаимозависимые сети. Большинство реальных сетевых систем постоянно взаимодействуют с другими сетями, особенно с учетом того, что современные технологии ускоряют взаимозависимость сетей. Кружево единых сетей
8	Практические примеры сетевых структур	Сложные сетевые системы пронизывают такие сферы, как транспорт, связь и информация, природные комплексы, энергетические системы, снижение и смягчение последствий стихийных бедствий и рисков, финансы, системы управления, социальные сети, а также биологические и медицинские системы, к этим же аспектам относятся исследования устойчивости, эффективности, надежности, безопасности, риска, сложности и сетей, начиная с основополагающих работ А.-Л. Барабаши [R. Albert and A.-L. Barabasi, (2002) Statistical mechanics of complex networks, Reviews of Modern Physics, vol. 74, no. 1, pp. 47–97]. Сетевой подход помогает государственным учреждениям здравоохранения и платформам социальных сетей смягчать распространение информации, связанной со здоровьем, с низкой достоверностью, выявляя уязвимые онлайн-сообщества.
9	Инструменты сетевого анализа	Сетевая статистика . Визуализация. Визуальные представления сложных сетей важны для

		понимания сетевых данных и доведения результатов анализа до пользователя . Визуализация также часто облегчает качественную интерпретацию сетевых данных. При визуализации, инструменты сетевого анализа используются для изменения макета, цветов, размера и других свойств представления сети. Gephi — программное обеспечение для визуализации и исследования всех видов графов и сетей.
--	--	--

4.3 Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ не предусмотрено

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 4

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Записи списков смежности, матриц смежности, поиск собственных векторов и собственных значений матрицы	4
2	Расчет метрик комплексной сети	4
3	Генерация комплексной сети	4
4	Конвертирование сетеподобной сложной системы в сеть	4
5	Анализ топологической уязвимости сетевой структуры	4
6	Сетевая онтология несетеподобной структуры	4
7	Конвертирование несетеподобных данных в комплексную сеть	4
8	Анализ сети , построенной из несетеподобных данных	4
9	Анализ многослойной сети	4

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 4

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	14
2	Проработка разделов теоретического материала	34
3	Создание математических и графических моделей процессов	6

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Компьютерные симуляции

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Практические работы направлены на получение навыков применения методов, моделей и инструментов сетевого анализа в решении нестандартных задач технологической, естественнонаучной и социально-экономической сферы, в том числе навыков представления данных в сетевом формате, работы с хранилищами сетевых данных и отбора значимой информации в области науки о сетях.

Ход работы (при выполнении практической работы)

1. Выслушать указания преподавателя;
2. Задать преподавателю вопросы;
3. Выполнить предложенные задания ;
4. Сформировать отчет;
5. Ответить на вопросы преподавателя.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Цель работы: Создание математических и графических моделей сетевых процессов.

Основные рекомендации по выполнению заданий: Создание математических и графических моделей сетевых процессов выполняется студентами самостоятельно, используя методические материалы к лабораторным работам, дополнительный материал и открытые источники сети Интернет

Проработка отдельных разделов теоретического курса

Цель работы: Глубоко проработать все разделы курса

Основные рекомендации по выполнению заданий: Проработка выполняется студентами самостоятельно, используя дополнительный материал и открытые источники сети Интернет.

Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам

Цель работы: Качественно оформить лабораторные работы

Основные рекомендации по выполнению заданий: Оформление выполняется студентами самостоятельно, используя стандарт ИРНИТУ СТО 002 Система менеджмента качества.

Порядок управления документированной информацией (документами) СМК.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 4 | Устный опрос

Описание процедуры.

Контроль подготовленности студента к выполнению практической работы

Примеры заданий:

Различие терминов, используемых в науке о сетях и теории графов.

Оценка эксцентриситета на простом примере.

Процесс предпочтительного присоединения.

Примеры моделей L- и P- для транспортных сетей.
 Сравнение уязвимостей сетей регулярной, случайной и безмасштабной.
 Алгоритм HVG конвертирования временных рядов в сети.
 Отличие взаимосвязанной сети и мультиплекса.
 Примеры и сетевые характеристики критических инфраструктур.
 Возможности оценок центральности отдельных узлов средствами Gephi .

Критерии оценивания.

Критерии оценки:
 - правильность ответа

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ОПК ОС-3.1	Применяет сетевые методы , разрабатывает сетевые онтологии технологических. Умеет конвертировать данные, описывающие сетеподобные и несетеподобные системы, объекты и процессы в комплексные сети. Уверенно демонстрирует владение инструментом анализа сетевых структур , приводит примеры, отвечает на вопросы.	Устный опрос. Отчет о лабораторной работе. Зачет
ОПК ОС-11.2	Знает основные сведения в области науки о сетях . Умеет эффективно сопоставлять и обобщать материалы о комплексных сетях , опубликованные в мировой открытой печати . Уверенно демонстрирует оформление результатов сетевого моделирования средствами автоматизированной визуализации.	Устный опрос. Отчет о лабораторной работе. Зачет

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 4, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Процедура охватывает результаты выполнения практических работ, посещение лекций и устные ответы на вопросы. Для допуска к зачету, как правило, обучающемуся необходимо выполнить все практические работы. Преподаватель может задавать уточняющие вопросы по существу ответа и дополнительные вопросы по программе данной учебной дисциплины из числа заданий пройденных практических работ (в случае выполнения практических работ не в полном объеме). Вопросы к зачету:

1. Случайные сети
2. Безмасштабные сети
3. Сети малого мира
4. Распределение связности в сетевых структурах
5. Модулярность
6. Размер сети. Эксцентриситет, диаметр, радиус сети.
7. Коэффициент кластеризации
8. Ассортативность и дисассортативность
9. Центральности узлов: Центральность по степени, центральность по близости, центральность мостовая
10. Центральности узлов: центральность по собственному вектору, центральность Каца, альфа-центральность, PageRank
11. Многослойные сети. Взаимосвязанные сети и мультиплексы
12. Взаимозависимые сети
13. Временные сети
14. Отличие сетей от графов
15. Модели предпочтительного присоединения: Модель Барабаши Альберт
16. Алгоритмы конвертирования временных рядов в сети: алгоритмы видимости
17. Алгоритмы конвертирования временных рядов в сети: транзитивные алгоритмы
18. Алгоритмы конвертирования временных рядов в сети: алгоритмы близости
19. L- и P- модели транспортных сетей
20. Связь сетевых метрик и макроскопических параметров
21. Сообщества в сетях
22. Оценка размера сети
23. Сети с ограничениями
24. Топологическая уязвимость сетей: метрики уязвимости
25. Каскады в сетях
26. Перестройка топологии как защитная стратегия
27. Затратная модель защиты сети: структурная оптимизация
28. Сравнительные сетевые характеристики социально-экономических, технологических и природных систем.
29. Основные раскладки в визуализации сети средствами инструмента Gephi
30. Возможности, предоставляемые Gephi для оценок центральностей узлов сети

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Обучающийся демонстрирует знание основного учебно-программного материала в сфере комплексных сетей, достаточного для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, в т.ч., такие как:	Обучающийся демонстрирует явные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала; - принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий; - очевидную невозможность продолжить

<p>- умение выполнять задания, предусмотренные программой; -знакомство с основной литературой, рекомендованной программой; - в основном верные ответа на поставленные вопросы или частично ошибочные , но с возможностью устранения погрешностей под руководством преподавателя.</p>	<p>обучение и приступить к эффективной профессиональной деятельности по окончании вуза.</p>
--	---

7 Основная учебная литература

1. Харари Ф. Теория графов : пер. с англ. / Ф. Харари, 1973. - 300.
2. Исаева Г. А. Графы и сетевые модели : пособие для специальности 06.07.00 "Национальная экономика" / Исаева Г. А., 2006. - 47.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Харари Фрэнк. Теория графов / Ф. Харари; Пер. с англ. и предисл. В. П. Козырева, 2003. - 300.
2. Алексеев В. Е. Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений : учебник по специальности 010200 - Прикладная математика и информатика и по направлению 510200 - Прикладная математика и информатика / В. Е. Алексеев, В. А. Таланов, 2012. - 318, [1].
3. Компьютерные сети [Электронный ресурс] : рабочая программа учебной дисциплины для студентов специальности "Компьютерные программы и комплексы" / Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. - 13.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Windows Seven Professional [1x100] RUS (проведен апгрейд с Microsoft Windows Seven Starter [1x100]) - поставка 2010
2. Microsoft Office 2007 Standard - 2003 Suites и 2007 Suites - поставка 2010

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Компьютер Intel i3 Asus P8H61/4ГБ/ 500ГБ/GF512mb/DVDRWATX450W/LCD22
2. Проектор Epson EB-W04LCD.WXGA 1280*800.3000:1.2800 ANSI Lumens