

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО
президиумом Ученого совета ННГУ

протокол № 13 от
« 30 » ноября 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Нелинейная динамика сложных сетей

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы
Нелинейные колебания и волны

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.01, Нелинейная динамика сложных сетей относится к части ОПОП направления подготовки 03.04.03 Радиофизика, формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
<i>ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности</i>	<p>ПК-1.1. Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач.</p> <p>ПК-1.2. Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий.</p>	<p><i>ПК-1.: Знает основные определения теории сложных сетей и их ключевые характеристики. Примеры реальных сложных сетевых систем, методы их исследования. ПК-1.2: Умеет работать с матрицей смежности и топология связей, с дистанцией, длиной пути, диаметром, коэффициентом кластеризации сложной сети. Знает технологии вычисления количественных характеристик сложных сетей.</i></p>	Собеседование, задачи
<i>ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформл</i>	<p>ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов.</p> <p>ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.</p>	<p><i>ПК-2.1: Знает модель Эрдоша-Реньи, распределение степеней, зависимость топологии от вероятности связей. Явление «малого мира», модель Уотса-Строгатца.</i></p> <p><i>ПК-2.2: Принципы генерации случайных сетей и вычисления их количественных характеристик.</i></p>	Собеседование, задачи

	<p>ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР.</p> <p>ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.</p>	<p>ПК-2.3: Свойство масштабной инвариантности сложных сетей, степенные законы распределения степеней узлов.</p> <p>ПК-2.4. Умеет анализировать полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p>	
<p>ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</p>	<p>ПК-3.1. Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.</p> <p>ПК-3.2. Представляет результаты НИР академическому и бизнессообществу.</p> <p>ПК-3.3. Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.</p>	<p>ПК-3.1: Знает хабы, показатель распределения безмасштабных сетей. Принципы построения сложных сетей с произвольным законом распределения степеней узлов. ПК-3.2: Сложные сети с растущей топологией, принцип предпочтительного соединения.</p> <p>ПК-3.3: Модель Барабаши-Альберт. Динамика степеней узлов и законы распределения.</p> <p>Адаптивные динамические сети. Динамические процессы на сетях: взаимовлияние топологии и динамики.</p>	Собеседование, задачи

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0

- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0 зачет

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	очная	очная	очная	очная	очная	очная
Тема 1: Сложные сети: основные определения и характеристики, примеры реальных сложных сетевых систем, методы изучения.	16	5	0	0	5	11
Тема 2: Основные типы сложных сетей. Количественные меры (распределение степеней узлов, кластеризация и др.).	16	5	0	0	5	11
Тема 3: Сложные сети со случайной топологией (модели Эрдоша-Реньи и сети малого мира).	16	5	0	0	5	11
Тема 4: Масштабно-инвариантные или безмасштабные сети: свойства, примеры, модели.	14	4	0	0	4	10
Тема 5: Модель Барабаши-Альберт: растущие сети и предпочтительное соединение.	16	5	0	0	5	11
Тема 6: Сети с развивающейся топологией: влияние процессов на микроуровне на макроскопические характеристики	15	4	0	0	4	11

Тема 7: Динамические процессы на сетях: взаимовлияние топологии и динамики.	14	4	0	0	4	10
Аттестация	0					
КСР	1				1	
Итого	108	32	0	0	33	75

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: групповых консультаций, индивидуальных консультаций.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения аудиторных занятий и в конце курса при проведении зачета по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

Список контрольных вопросов:

1. Основные определения теории сложных сетей и их ключевые характеристики.
2. Примеры реальных сложных сетевых систем, методы их исследования.
3. Основные типы сложных сетей (ненаправленные, ориентированные, взвешенные, бипартитные).
4. Понятие степени узла, средняя степень и распределение степеней сложной сети.
5. Матрица смежности и топология связей.
6. Дистанция, длина пути, диаметр, коэффициент кластеризации сложной сети.
7. Технология вычисления количественных характеристик сложных сетей.
8. Модель Эрдоша-Реньи, распределение степеней, зависимость топологии от вероятности связей.
9. Явление «малого мира», модель Уотса-Строгатца.
10. Принципы генерации случайных сетей и вычисления их количественных характеристик.
11. Свойство масштабной инвариантности сложных сетей, степенные законы распределения степеней узлов.
12. Хабы, показатель распределения безмасштабных сетей.
13. Принципы построения сложных сетей с произвольным законом распределения степеней узлов.
14. Сложные сети с растущей топологией, принцип предпочтительного соединения.
15. Модель Барабаши-Альберт. Динамика степеней узлов и законы распределения.
16. Линейное и нелинейное предпочтительное соединение в модели Барабаши-Альберт.

17. Технология построения сетей Барабаши-Альберт, измерения их топологических характеристик.
18. Сети с изменяющейся топологией.
19. Модель Бьянкони-Барабаши, аналогия с бозе-эйнштейновской конденсацией.
20. Принципы влияния процессов на микроуровне на макроскопические характеристики. Адаптивные динамические сети.
21. Динамические процессы на сетях: взаимовлияние топологии и динамики.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

			полном объеме.	некоторые с недочетами.		все задания в полном объеме.	
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом . Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения (согласно оценочным средствам табл.2)

5.2.1 Контрольные вопросы

№	Вопрос	компете нция
1.	Основные определения теории сложных сетей и их ключевые характеристики.	<i>ПК-1</i>
2.	Понятие степени узла, средняя степень и распределение степеней сложной сети.	<i>ПК-1</i>
3.	Модель Эрдоша-Реньи, распределение степеней, зависимость топологии от вероятности связей.	<i>ПК-1</i>
4.	Явление «малого мира», модель Уотса-Строгатца.	<i>ПК-2</i>
5.	Свойство масштабной инвариантности сложных сетей, степенные законы распределения степеней узлов.	<i>ПК-2</i>
6.	Динамические процессы на сетях: взаимовлияние топологии и динамики.	<i>ПК-2</i>
7.	Технология вычисления количественных характеристик сложных сетей.	<i>ПК-3</i>
8.	Принципы генерации случайных сетей и вычисления их количественных характеристик.	<i>ПК-3</i>
9.	Принципы построения сложных сетей с произвольным законом распределения степеней узлов.	<i>ПК-3</i>
10.	Технология построения сетей Барабаши-Альберт, измерения их топологических характеристик.	<i>ПК-3</i>

5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-1,2,3

№	задачи	компете нция
1.	Моделирование сети Барабаши-Альберт, определение свойств её структуры	<i>ПК-3</i>
2.	Исследование изменения степеней узлов и законы распределения в модели Барабаши-Альберт	<i>ПК-2</i>
3.	Генерация случайной сети с заданным средним значением степени узла, определение её критичности	<i>ПК-1</i>
4.	Анализ сети малого мира, её кратчайшего пути и кластеризации	<i>ПК-3</i>
5.	Измерение корреляции степеней узлов, оценка ассортативности и дисассортативности	<i>ПК-1</i>
6.	Анализ модулярности сложной сети, построение иерархической кластеризации узлов	<i>ПК-2</i>
7.	Исследование структурной устойчивости сложной сети к случайным удалениям узлов и атакам	<i>ПК-3</i>

5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1,2,3

№	задачи	компете нция
1.	Вычислить дистанции, диаметр, коэффициент кластеризации в заданной сложной сети	<i>ПК-2</i>
2.	Исследовать закон распределения степеней и характеристики топологии связей в модели Уотса-Строгатца	<i>ПК-1</i>

3.	Исследовать динамику степеней узлов и законы распределения в модели Барабаши-Альберт	<i>ПК-3</i>
4.	Исследовать влияния процессов на микроуровне на характеристики топологии сети	<i>ПК-3</i>
5.	Вычислить закон распределения степеней узлов в случайной сети	<i>ПК-1</i>
6.	Построить сложную сеть с произвольным законом распределения степеней узлов	<i>ПК-2</i>
7.	Построить сеть Барабаши-Альберт, измерить её топологические характеристики.	<i>ПК-1</i>

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

1. Оре О. - Теория графов. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1968. - 352 с.
2. Харари Ф. - Теория графов. - М.: Мир, 1973. - 300 с. Хейл Дж. - Колебания в нелинейных системах. - М.: Мир, 1966. - 230 с.
3. Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э. - Теория колебаний. - М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1959. - 915 с.
4. Гмурман В. Е. - Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 2000. - 400 с.
5. Пиковский А., Розенблум М., Куртс Ю - Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. - М.: Техносфера, 2003. - 496 с.
6. Вентцель Е. С. - Теория вероятностей: учеб. для вузов. - М.: Высшая школа, 1998. - 576 с.

б) дополнительная литература:

1. Масленников О. В., Некоркин В. И., Успехи физических наук 187, 745–756 (2017).
2. Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г - Синергетика и прогнозы будущего. - М.:

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Аудитория для практических занятий в группе

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Масленников О.В. к.ф.-м.н., доц. каф. Теории колебаний и автоматического регулирования

Рецензент(ы): Осипов Г.В., д.ф.-м.н., доц., зав. каф. теории управления и динамики систем ИИТММ

Заведующий кафедрой: Матросов В.В. д.ф.-м.н., проф.

Программа одобрена на заседании Методической комиссии радиофизического факультета, от 14.11.22, протокол № 08/22.