

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов»

Факультет физико-математических и естественных наук

Рекомендовано МССН
02.00.00 «Компьютерные
и информационные науки»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины

Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G

Рекомендуется для направления подготовки

02.04.02 — Фундаментальная информатика и информационные технологии

(указываются код и наименования направления(ий))

подготовки (специальности (ей) и/или профилей (специализаций))

Направленность программы

«Управление инфокоммуникациями и интеллектуальные системы»

(наименование образовательной программы в соответствии с направленностью (профилем))

Квалификация (степень) выпускника магистр

(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ОС ВО РУДН)

1. Цели и задачи дисциплины: Целями освоения дисциплины являются

- изучение подходов к управлению качеством обслуживания в сотовых сетях связи текущего (LTE) следующего поколения (mmWave/5G+/6G);
- рассмотрение вопросов качества в таких сетях на различных уровнях; знакомство с методами анализа и расчета показателей качества отдельных элементов сетей, а также сети в целом;
- освоение и исследование точных и приближенных методов анализа качества обслуживания в сотовых сетях связи следующего поколения.

Задачами дисциплины являются обучение студентов активному владению методами анализа современных сотовых сетей связи, построению математических моделей таких сетей и их фрагментов, формирование навыка применения вычислительных алгоритмов к анализу производительности сетей для расчета их характеристик, важных с точки зрения управления качеством обслуживания в сетях связи следующего поколения

2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 учебного плана, дисциплина по выбору.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
Общекультурные компетенции			
1	УК-1, УК-7	Моделирование беспроводных сетей; Методы стохастического анализа телекоммуникаций;	Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями; Математическая теория телетрафика; Модели ресурсных систем массового обслуживания
Общепрофессиональные компетенции			
2	ОПК-1; ОПК-3; ОПК-4;	Моделирование беспроводных сетей; Методы стохастического анализа телекоммуникаций; Математическая теория телетрафика; Модели ресурсных систем массового обслуживания;	Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями; Математическая теория телетрафика; Модели ресурсных систем массового обслуживания
Профессиональные компетенции (вид профессиональной деятельности - научно-исследовательская деятельность)			

3	ПК-1	Моделирование беспроводных сетей; Методы стохастического анализа телекоммуникаций; Математическая теория телетрафика; Модели ресурсных систем массового обслуживания;	Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями; Математическая теория телетрафика; Модели ресурсных систем массового обслуживания
Профессиональные компетенции (вид профессиональной деятельности - производственно-технологический)			
4	ПК-2	Моделирование беспроводных сетей; Методы стохастического анализа телекоммуникаций; Математическая теория телетрафика; Модели ресурсных систем массового обслуживания;	Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями; Математическая теория телетрафика; Модели ресурсных систем массового обслуживания

УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий.

УК-7 Способен: искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач; проводить оценку информации, ее достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных.

ОПК-1 Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий.

ОПК-3 Способен проводить анализ математических моделей, создавать инновационные методы решения прикладных задач профессиональной деятельности в области информатики и математического моделирования.

ОПК-4 Способен оптимальным образом комбинировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности.

ПК-1 Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.

ПК-2 Организационное и технологическое обеспечение проектирования и дизайна ИС.

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: УК-1; УК-7; ОПК-1; ОПК-3; ОПК-4; ПК-1; ПК-2

(указываются в соответствии с ОС ВО РУДН)

УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий.

- **УК-1.1** Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации.
- **УК-1.2** Умеет соотносить разнородные явления и систематизировать их в рамках избранных видов профессиональной деятельности.
- **УК-1.3** Имеет практический опыт работы с информационными источниками, опыт научного поиска, создания научных текстов.

УК-7. Способен: искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач; проводить оценку информации, ее достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных.

- **УК-7.1.** Знает принципы применения цифровых технологий для сбора, отбора и обобщения информации.
- **УК-7.2.** Умеет применять цифровые технологии для поиска, обработки, анализа, хранения и представления информации в области фундаментальной информатики и информационных технологий.
- **УК-7.3.** Владеет навыками применения цифровых технологий и методов поиска, обработки, анализа, хранения и представления информации в области фундаментальной информатики и информационных технологий.

ОПК-1 Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий

- **ОПК-1.1** Обладает фундаментальными знаниями в области математических и естественных наук, теории коммуникаций
- **ОПК-1.2** Умеет осуществлять первичный сбор и анализ материала, интерпретировать различные математические объекты
- **ОПК-1.3** Имеет практический опыт работы с решением математических задач и применяет его в профессиональной деятельности

ОПК-3 Способен проводить анализ математических моделей, создавать инновационные методы решения прикладных задач профессиональной деятельности в области информатики и математического моделирования.

- **ОПК-3.1** Знает методы теории алгоритмов, методы системного и прикладного программирования, основные положения и концепции в области математических, информационных и имитационных моделей.
- **ОПК-3.2** Умеет соотносить знания в области программирования, интерпретацию прочитанного, определять и создавать информационные ресурсы глобальных сетей, образовательного контента, средств тестирования систем

ОПК-4 Способен оптимальным образом комбинировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности

- **ОПК-4.1** Знает принципы сбора и анализа информации, создания информационных систем на стадиях жизненного цикла
- **ОПК-4.2** Умеет осуществлять управление проектами информационных систем
- **ОПК-4.3** Имеет практический опыт анализа и интерпретации информационных систем

ПК-1 Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований:

- **ПК-1.2** Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике

проводимых исследований на русском и иностранном языке; способен готовить публикации в научно-технических тематических изданиях

- **ПК-1.3** Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ математики и информатики, а также решать стандартные задачи собственной научно-исследовательской деятельности; умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей по тематике исследований в соответствии с выбранной методикой

ПК-2 Организационное и технологическое обеспечение проектирования и дизайна ИС

- **ПК-2.4** Умеет проводить анализ требований к информационной системе; разрабатывать варианты реализации информационной системы; проводить оценку качества, надежности и эффективности информационной системы
- **ПК-2.8** Знает устройство и функционирование современных информационных систем; современные стандарты взаимодействия информационных систем; программные средства и платформы инфраструктуры информационных технологий организации; современные подходы и стандарты автоматизации организации (например CRM, ERP, ITIL)

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- Знать: основные понятия и определения, относящиеся к концепции сетей сотовой связи текущего (4G) и следующего поколения (5G);
- основные методы доступа к среде в сетях связи следующего поколения;
- требования международных стандартов к показателям качества таких сетей;
- методы разработки и анализа моделей телекоммуникационных систем сложной структуры;
- численные методы расчета (приближенные и точные) характеристик сети.

Уметь:

- строить модели отдельных функциональных элементов сетей связи LTE и mmWave/5G, а также модели сети в целом;
- проводить исследование построенных моделей, получать их вероятностные характеристики, требующиеся для анализа показателей качества;
- использовать изученные методы и принципы при разработке моделей и анализе качества обслуживания для реально существующих сетей.

Владеть:

- точными и приближенными методами исследования и анализа моделей сетей и систем телекоммуникаций.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц.

№	Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
			1 (модуль 2)
1.	Аудиторные занятия (всего)	36	36
1.1	Лекции	18	18
1.2.1	Практические занятия (ПЗ)	18	18
1.2.2	Семинары (С)	-	-
1.2.3	Лабораторные работы (ЛР)	-	-

2.	Самостоятельная работа студентов (ак. часов)	108	108
3.	Общая трудоемкость (ак. часов)	144	144
4.	Общая трудоемкость (зачетных единиц)	4	4

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)
1.	Эволюция беспроводных сотовых сетей	Особенности развития сетей связи, история развития ССС, процесс стандартизации ССС, назначение электромагнитного спектра; Развитие сетей ССС, особенности поколения, технологические свойства и отличия;
2.	Методы анализа сотовых сетей связи	Сети 4G+: сетевые механизмы наращивания емкости; Сети 5G “Новое Радио” основные особенности; Сети 5G “Новое Радио” функциональные особенности радиодоступа; Сети 5G “Новое Радио” сценарии использования; Сети терагерцового доступа 6G: приложения; Сети терагерцового доступа 6G: открытые задачи Совмещение методов стохастической геометрии и СМО для анализа сетей 5G NR
3.	Математические модели для сетей LTE/5G/6G	Моделирование mmWave: потери распространения; Моделирование mmWave: пространственные характеристики блокировки; Моделирование mmWave: временные характеристики блокировки; Моделирование mmWave: антенные решетки; Моделирование mmWave: линейная шкала и особенности терагерцового распространения; Моделирование mmWave: функциональные преобразования случайных величин для моделирования беспроводных сетей связи; Моделирование mmWave: методы оценки помехи; Моделирование mmWave: оценка помехи; Моделирование mmWave: 3D модели оценки помехи; Параметризация ресурсных СМО; Борьба с блокировками: мультисвязность для поддержки соединения; Борьба с блокировками: мультисвязность для поддержки QoS; Борьба с блокировками: мультисвязность для поддержки QoS, часть II; Оценка SINR и емкости; Ресурсные СМО Борьба с блокировками: резервация ресурсов

5.2. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. зан.	Семина	СРС	Всего час.
1.	Эволюция сотовых сетей связи	2	1			10	13
2.	Методы анализа сотовых сетей связи	6	4			30	40
3.	Математические модели для сетей LTE/5G/6G	10	13			68	91
	Итого:	18	18			108	144

6. Лабораторный практикум – не предусмотрен программой курса

7. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических работ	Трудоемкость (час.)
1.	1	Модели распространения сигнала	1
2.	2	SNR и емкость канала	1
3.	2	Распространение терагерцовых волн	1
4.	3	Моделирование блокировок и распространения	3
5.	3	Моделирование антенных решеток	3
6.	3	Преобразования СВ для потерь, SNR и скорости Шэннона	3
7.	3	Формула Кэмблелла для оценки интерференции	3
8.	3	Использование разложения Тейлора для оценки скорости и SINR	3
		Итого:	18

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Мультимедийная учебная аудитория для проведения учебных занятий (в том числе для практического и лекционного типов занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации).

Компьютерные (дисплейные) классы с доступом к сети Интернет и электронно-образовательной среде Университета для выполнения обучающимися лабораторных работ по дисциплине, для проведения обучающимися самостоятельной работы и компьютерного тестирования обучающихся (при необходимости).

9. Информационное обеспечение дисциплины

а) программное обеспечение:

- ОС Windows, MS Office (программа корпоративного лицензирования (Microsoft Subscription) Enrollment for Education Solutions), браузер Firefox (лицензия MPL-2.0) или браузер Chrome (лицензия Google Chrome Terms of Service); Adobe Reader (Adobe Software License Agreement).
- ОС Linux, офисный пакет LibreOffice (лицензия MPL-2.0), ПО для просмотра pdf (например, evince (лицензия GPL-2+ CC-BY-SA-3.0)).

б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- Сайт библиотеки РУДН <http://lib.rudn.ru/>
- ТУИС <http://esystem.pfur.ru/>
- IETF <https://www.ietf.org/rfc.html>

- IEL IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (Доступ по IP-адресам РУДН (Грант МОН)) Режим доступа: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>
- Science Direct <http://www.sciencedirect.com> Описание: Ресурс содержит коллекцию научной, технической полнотекстовой и библиографической информации. База данных мультидисциплинарного характера включает научные журналы по точным и техническим наукам.
- Springer/Kluwer <http://www.springerlink.com>. Журналы и книги издательства Springer/Kluwer охватывают различные области знания и разбиты на предметные категории.
- American Mathematical Society <http://www.ams.org/> Ресурс американского математического общества.
- European Mathematical Society <http://www.euro-math-soc.eu/> Ресурс европейского математического общества.
- Portal to Mathematics Publications <http://www.emis.de/projects/EULER/>
- Каталог математических интернет ресурсов <http://www.mathtree.ru/>
- Zentralblatt MATH (zbMATH) <https://zbmath.org>
- Общероссийский математический портал mathnet.ru
- Web of Science <http://www.isiknowledge.com>
- Ресурсы Института научной информации по общественным наукам Российской академии наук (ИНИОН РАН) <http://elibrary.ru>.

10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

а) основная литература

1. Молчанов Д.А, Бегишев В.О., Сопин Э.С., Самуйлов А.К., Гайдамака Ю.В.// Построение моделей и анализ производительности беспроводных сетей радиодоступа 5G «Новое Радио»: учебное пособие / – Москва : РУДН, 2021. – 95 с.: ил.
2. Молчанов Д.А, Бегишев В.О., Самуйлов А.К., Самуйлов К.Е. Модели и методы оценки характеристик сетей связи 5G: учебно-методическое пособие. – Москва: РУДН, 2020. – 95 с.
3. Молчанов, Д.А. Оценка отношения сигнал-шум в беспроводных сетях доступа пятого поколения. / Д.А. Молчанов, Р.Н. Ковальчуков, А.Я. Ометов, и др. // Электросвязь. — 2019, — № 9, — С. 37–44. — 0,92 / 0,45 п.л.
4. Молчанов, Д.А. Анализ интерференции в беспроводных сетях связи терагерцового диапазона частот. / В.И. Петров, Д.А. Молчанов, Е.А. Кучерявый, // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2017, — Т. 10, № 1, — С. 27–36. — 1,27 / 0,66 п.л.
5. Молчанов Д.А. Оценка отношения сигнал/помеха в беспроводных сетях связи терагерцового диапазона частот / В.И. Петров, Д.А. Молчанов, Е.А. Кучерявый, // Электросвязь. — 2017. — № 10. — С. 24-29. — 0,43 / 0,17 п.л.
6. Мицель А.А., Катаев М.Ю., Математическое и имитационное моделирование: Методические указания к выполнению практических работ по курсу «Математическое и имитационное моделирование» для студентов, обучающихся по направлению 09.03.03 «Прикладная информатика» всех форм обучения. Юрга: Изд-во ЮТИ(филиал)ТПУ, 2016. – 110 с.

б) дополнительная литература

1. Бегишев В.О., Сопин Э.С., Молчанов Д.А., Самуйлов А.К., Гайдамака Ю.В., Самуйлов К.Е.// статья: Оценка эффективности механизма резервирования полосы пропускания для технологии mmWave в сетях связи пятого поколения,

изд-во: Информационно-управляющие системы, № 5 (102), 2019 г., стр. 51 – 63
DOI <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2019-5-51-63>.

2. Молчанов Д.А. Моделирование отношения сигнал/интерференция в мобильной сети со случайным блужданием взаимодействующих устройств / Ю.В. Гайдамака, Ю.Н. Орлов, Д.А. Молчанов, и др. // Информатика и её применения. — 2017. — Т.11, №2, — С. 50–58. — 1,03 / 0,64 п.л

11. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины:

Учебным планом на изучение дисциплины отводится 1 семестр (2 модуль). В течение семестра проводятся лекционные и практические (в том числе семинарские) занятия, домашние задания и контрольные мероприятия. В конце семестра производится итоговый контроль знаний - зачет.

12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

ФОС по дисциплине представлен в приложении к данной программе.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Разработчики:

доцент кафедры прикладной информатики
и теории вероятностей, д.т.н.

Д.А. Молчанов

Руководитель программы

Заведующий кафедрой
прикладной информатики
и теории вероятностей, д.т.н., проф.

К.Е. Самуйлов

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов»*

Факультет физико-математических и естественных наук

Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G
(наименование дисциплины)

02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии
(код и наименование направления подготовки)

«Управление инфокоммуникациями и интеллектуальные системы»
(наименование профиля подготовки)

Магистр
Квалификация (степень) выпускника

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине
Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G

Направление: 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

Код контролируемой компетенции или ее части	Контролируемый раздел дисциплины	Контролируемая тема дисциплины	ФОСы (формы контроля уровня освоения ООП)				Баллы раздела
			Аудиторная работа		Самост. работа	Итоговый контроль (Зачет)	
			Практические занятия	Тест	Выполнение практических заданий		
УК-1; УК-7; ОПК-1; ОПК-3; ОПК-4; ПК-1; ПК-2	Эволюция беспроводных сотовых сетей	Особенности развития сетей связи, история развития ССС, процесс стандартизации ССС, назначение электромагнитного спектра; Развитие сетей ССС, особенности поколения, технологические свойства и отличия;	1	2	2	5	10
	Методы анализа сотовых сетей связи	Сети 4G+: сетевые механизмы наращивания емкости; Сети 5G “Новое Радио” основные особенности; Сети 5G “Новое Радио” функциональные особенности радиодоступа; Сети 5G “Новое Радио” сценарии использования; Сети терагерцового доступа 6G: приложения; Сети терагерцового доступа 6G: открытые задачи Совмещение методов стохастической геометрии и СМО для анализа сетей 5G NR	3	4	10	7	24

	<p>Математические модели для сетей LTE/5G/6G</p>	<p>Моделирование mmWave: потери распространения; Моделирование mmWave: пространственные характеристики блокировки; Моделирование mmWave: временные характеристики блокировки; Моделирование mmWave: антенные решетки; Моделирование mmWave: линейная шкала и особенности терагерцового распространения; Моделирование mmWave: функциональные преобразования случайных величин для моделирования беспроводных сетей связи; Моделирование mmWave: методы оценки помехи; Моделирование mmWave: оценка помехи; Моделирование mmWave: 3D модели оценки помехи; Параметризация ресурсных СМО; Борьба с блокировками: мультисвязность для поддержки соединения; Борьба с блокировками: мультисвязность для поддержки QoS; Борьба с блокировками: мультисвязность для поддержки QoS, часть II; Оценка SINR и емкости; Ресурсные СМО Борьба с блокировками: резервация ресурсов</p>	10	10	38	8	66
Итого:			14	16	50	20	100

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

УК-1; УК-7; ОПК-1; ОПК-3; ОПК-4; ПК-1; ПК-2

(указываются в соответствии с ОС ВО РУДН)

УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.

- **УК-1.1** Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации.
- **УК-1.2** Умеет соотносить разнородные явления и систематизировать их в рамках избранных видов профессиональной деятельности.
- **УК-1.3** Имеет практический опыт работы с информационными источниками, опыт научного поиска, создания научных текстов.

УК-7. Способен: искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач; проводить оценку информации, ее достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных.

- **УК-7.1.** Знает принципы применения цифровых технологий для сбора, отбора и обобщения информации.
- **УК-7.2.** Умеет применять цифровые технологии для поиска, обработки, анализа, хранения и представления информации в области фундаментальной информатики и информационных технологий.
- **УК-7.3.** Владеет навыками применения цифровых технологий и методов поиска, обработки, анализа, хранения и представления информации в области фундаментальной информатики и информационных технологий.

ОПК-1 Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий

- **ОПК-1.1** Обладает фундаментальными знаниями в области математических и естественных наук, теории коммуникаций
- **ОПК-1.2** Умеет осуществлять первичный сбор и анализ материала, интерпретировать различные математические объекты
- **ОПК-1.3** Имеет практический опыт работы с решением математических задач и применяет его в профессиональной деятельности

ОПК-3 Способен проводить анализ математических моделей, создавать инновационные методы решения прикладных задач профессиональной деятельности в области информатики и математического моделирования.

- **ОПК-3.1** Знает методы теории алгоритмов, методы системного и прикладного программирования, основные положения и концепции в области математических, информационных и имитационных моделей.
- **ОПК-3.2** Умеет соотносить знания в области программирования, интерпретацию прочитанного, определять и создавать информационные ресурсы глобальных сетей, образовательного контента, средств тестирования систем

ОПК-4 Способен оптимальным образом комбинировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности

- **ОПК-4.1** Знает принципы сбора и анализа информации, создания информационных систем на стадиях жизненного цикла
- **ОПК-4.2** Умеет осуществлять управление проектами информационных систем
- **ОПК-4.3** Имеет практический опыт анализа и интерпретации информационных систем

ПК-1 Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований:

- **ПК-1.2** Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и иностранном языке; способен готовить публикации в научно-технических тематических изданиях
- **ПК-1.3** Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ математики и информатики, а также решать стандартные задачи собственной научно-исследовательской деятельности; умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей по тематике исследований в соответствии с выбранной методикой

ПК-2 Организационное и технологическое обеспечение проектирования и дизайна ИС

- **ПК-2.4** Умеет проводит анализ требований к информационной системе; разрабатывать варианты реализации информационной системы; проводить оценку качества, надежности и эффективности информационной системы
- **ПК-2.8** Знает устройство и функционирование современных информационных систем; современные стандарты взаимодействия информационных систем; программные средства и платформы инфраструктуры информационных технологий организации; современные подходы и стандарты автоматизации организации (например CRM, ERP, ITIL)

Балльно-рейтинговая система оценки уровня знаний

Сводная оценочная таблица дисциплины

№	Раздел	Формы контроля уровня освоения ООП										Баллы раздела	
		Выполнение Пр №1	Выполнение Пр №2	Выполнение Пр №3	Выполнение Пр №4	Выполнение Пр №5	Выполнение Пр №6	Выполнение Пр №7	Выполнение Пр №8	Тест по каждой лекц.	Итоговый контроль		
1	Эволюция беспроводных сотовых сетей	3									2	5	10
2	Методы анализа сотовых сетей связи		5	8							4	7	24
3	Математические модели для сетей LTE/5G/6G				8	10	10	10	10	10	10	8	66
Итого		3	5	8	8	10	10	10	10	10	16	20	100

Таблица соответствия баллов и оценок

Баллы БРС	Традиционные оценки РФ	Оценки ECTS
95 - 100	5	A
86 - 94		B
69 - 85	4	C
61 - 68	3	D
51 - 60		E
31 - 50	2	FX
0 - 30		F
51-100	Зачет	Passed

Правила применения БРС

1. Раздел (тема) учебной дисциплины считается освоенной, если студент набрал более 50% от числа баллов, предусмотренных за данный раздел (тему).
2. Студент не может быть аттестован по дисциплине, если им не освоены все темы всех разделов дисциплины.
3. По решению преподавателя и с согласия студентов, не освоивших отдельные разделы (темы) изучаемой дисциплины, в течение учебного семестра могут быть повторно проведены мероприятия текущего контроля успеваемости или выданы дополнительные учебные задания по этим темам или разделам. При этом студентам за данную работу засчитывается минимально возможный положительный балл.
4. При выполнении студентом дополнительных учебных заданий, или повторного прохождения мероприятий текущего контроля, полученные им баллы засчитываются

в конкретные темы. При этом итоговая сумма баллов не может превышать максимального количества баллов, установленного по данным темам.

5. При подведении итогов семестровой промежуточной аттестации накопленные студентом баллы (по итогам семестра и за аттестационные испытания) переводятся в традиционную оценку по четырехбалльной шкале (неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо, отлично) и в оценку ECTS (A, B, C, D, E, FX, F). Оценки «неудовлетворительно», «FX» и «F» в зачетную книжку не проставляются.
6. Пользоваться мобильными телефонами и другими электронными техническими средствами во время занятий и при проведении текущего контроля успеваемости можно только с разрешения преподавателя.
7. График проведения мероприятий текущего контроля успеваемости формируется в соответствии с календарным планом курса.
8. Студенты обязаны сдавать все задания в сроки, установленные преподавателем.
9. Время, которое отводится студенту на выполнение мероприятия текущего контроля успеваемости, устанавливается преподавателем. По завершении отведенного времени студент должен сдать работу преподавателю, вне зависимости от того, завершена она или нет.
10. Использование источников (в том числе конспектов лекций и практических заданий) во время выполнения мероприятий текущего контроля успеваемости возможно только с разрешения преподавателя.
11. Отсутствие студента на мероприятии текущего контроля успеваемости считается уважительным только в случае болезни студента, что подтверждается наличием у него медицинской справки, заверенной в КДЦ РУДН. Не позднее двух недель после выздоровления студент предъявляет справку преподавателю. В противном случае, отсутствие студента на мероприятии текущего контроля успеваемости признается не уважительным.
12. Сдача мероприятий текущего контроля успеваемости по причине болезни студента проводится один раз в конце семестра (модуля) в день, установленный преподавателем.
13. Итоговый контроль знаний проводится в форме теста и оценивается из 20 баллов независимо от оценки, полученной в семестре.
14. Если в итоге за семестр (модуль) студент получил неудовлетворительную оценку, то студенту разрешается добор необходимого (до 51) количества баллов посредством повторного одноразового выполнения предусмотренных контрольных мероприятий (повторная переаттестация). Ликвидация задолженностей проводится по согласованию с деканатом в соответствии с действующими локальными нормативными актами.

Примерный перечень оценочных средств

п/ п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<i>Аудиторная работа</i>			
1	Практические задания	Система практических заданий, направленных на формирование практических навыков у обучающихся	Фонд практических заданий
2	Тест	Тестовые вопросы после каждой лекции	База тестовых заданий
3	Зачет в форме теста	Система стандартизированных заданий (вопросов), позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося	База тестовых заданий
<i>Самостоятельная работа</i>			
4	Подготовка отчётов по результатам выполнения практических задания	Форма проверки качества выполнения студентами практических заданий в соответствии с утверждённой программой	Фонд практических заданий

Оценка работы студента в течение семестра выставляется по сумме набранных баллов за практические задания и итогового теста.

Предлагаются к выполнению 8 практических заданий (3, 5, 8, 8, 10, 10, 10, 10 в сумме 80 баллов). Отчеты по практическим заданиям выполняются и готовятся студентом самостоятельно (индивидуально), на практическом занятии студент может получить консультацию и методические указания от преподавателя.

Методические указания и шкала оценок.

Порядок выполнения практических занятий заключается в следующем:

4. Ознакомиться с разделами методических указаний к данной работе.
5. Выполнить задачи практических заданий.
6. Составить отчёт.
7. Записать видеобъяснение (скринкаст) выполненного задания.

Отчёт должен содержать следующие разделы:

1. Титульный лист;
2. Формулировку цели работы;
3. Описание результатов выполнения задания:
 - листинги программ;
 - результаты выполнения программ (снимок экрана);
4. Выводы, согласованные с целью работы.

Критерии оценки по дисциплине

Оценивается полнота выполнения работы, оформление результатов расчетов и оценки производительности. Также оцениваются ответы на вопросы преподавателя по исходному тексту программы.

Шкала оценок

95-100:

- полное выполнение практических заданий;
- высокий уровень культуры исполнения практических заданий;
- активное участие в мероприятиях, предусмотренных программой дисциплины;
- систематизированное, глубокое и полное освоение навыков и компетенций по всем разделам программы дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- безупречное владение программным обеспечением, умение эффективно использовать его в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать поставленные задачи;
- полная самостоятельность и творческий подход при изложении материала по программе дисциплины;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной программой дисциплины и преподавателем.

86- 94:

- полное выполнение практических заданий;
- высокий уровень культуры исполнения практических заданий;
- систематизированное, глубокое и полное освоение навыков и компетенций по всем разделам программы дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- хорошее владение программным обеспечением, умение эффективно использовать его в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно решать поставленные задачи в нестандартных производственных ситуациях;
- усвоение основной и дополнительной литературы, нормативных и законодательных актов, рекомендованных программой дисциплины и преподавателем.

69-85:

- частичное выполнение практических заданий;
- хороший уровень культуры исполнения практических заданий;
- систематизированное и полное освоение навыков и компетенций по всем разделам программы дисциплины;
- владение программным обеспечением, умение использовать его в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно решать проблемы в рамках программы дисциплины;
- усвоение основной литературы;

51-68:

- частичное выполнение практических заданий;

- систематизированное и полное освоение навыков и компетенций по всем разделам программы дисциплины;
- удовлетворительное владение программным обеспечением, умение использовать его в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность решать проблемы в рамках программы дисциплины;
- удовлетворительное усвоение основной литературы;

31 - 50 – НЕ ЗАЧТЕНО:

- частичное выполнение практических заданий;
- недостаточно полный объем навыков и компетенции в рамках программы дисциплины;
- неумение использовать в практической деятельности научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными стилистическими и логическими ошибками;
- слабое владение программным обеспечением по разделам программы дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) производственных задач;
- способность решать проблемы в рамках программы дисциплины;
- удовлетворительное усвоение основной литературы;

0-30 – НЕ ЗАЧТЕНО:

- отсутствие умений, навыков, знаний и компетенции в рамках программы дисциплины;
- невыполнение лабораторных заданий; отказ от ответа по программе дисциплины;
- игнорирование занятий по дисциплине по неуважительной причине.
- программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Фонд практических заданий

Практическое задание №1. Модели распространения

1. Переведите модель распространения FSPL из линейной шкалы в логарифмическую. Обоснуйте переход.
2. Постройте модель распространения FSPL для как функцию от расстояния для нескольких частот $f = 900$ МГц, 1.9 ГГц и 28 ГГц как в шкале децибел, так и в линейной шкале. Объясните удобство использования шкалы децибел. Проанализируйте и сделайте вывод о влиянии расстояния и частоты на потери распространения.
3. Предположив излучаемую мощность антенны БС 23 дБм, усиления на передаче и приеме 10 дБ, а также чувствительность приемника -70 дБ рассчитайте радиус покрытия БС на частотах $f = 900$ МГц, 1.9 ГГц и 28 ГГц. Ширина канала – 20 МГц, тепловой шум -174 дБ/Гц. Опишите полученные результаты. Укажите методы повышения покрытия беспроводных сетей связи.
4. Сравните модель FSPL и модели UMa LoS, UMa nLoS, InH-Office LoS, InH-Office nLoS. Оцените различия и обоснуйте их.

Практическое задание №2. SNR и емкость канала

1. Постройте отношение SNR как функцию от дистанции для нескольких частот $f = 900$ МГц, 1.9 ГГц и 28 ГГц, предположив излучаемую мощность антенны БС 23 дБм, усиления на передаче и приеме 10 дБ, ширина канала – 20 МГц, тепловой шум -174 дБ/Гц, модель распространения – FSPL.. Проанализируйте поведение кривых. Что произойдет с максимальной дистанцией связи если изменять чувствительность приемника, усиления антенн, излучаемую мощность? Что произойдет если появится интерференция от смежных сот?
2. Постройте зависимость скорости Шеннона от параметров как функцию от дистанции для нескольких частот $f = 900$ МГц, 1.9 ГГц и 28 ГГц, предположив излучаемую мощность антенны БС 23 дБм, усиления на передаче и приеме 10 дБ, ширина канала – 20 МГц, тепловой шум -174 дБ/Гц. Проанализируйте полученную зависимость. Почему скорость ненулевая даже для дистанций, на которых связь невозможна? Зафиксировав дистанцию постройте зависимости от частоты, усиления на передаче, мощности передачи, интерференции. Что происходит в реальных системах связи на этих дистанциях? За счет чего наиболее эффективно наращивать скорость беспроводных каналов связи? Что происходит со скоростью если появится интерференция от смежных сот?
3. Постройте зависимость скорости Шеннона от разных моделей распространения: FSPL, UMa LoS, UMa nLoS, InH-Office LoS, InH-Office nLoS? В каких условиях достижимая скорость выше.

Практическое задание №3. Распространение терагерцовых волн

1. Постройте отношение SNR как функцию от дистанции для миллиметрового и терагерцового диапазонов частот (взяв, например, в качестве несущей 28 ГГц и 0.3 ТГц), предположив излучаемую мощность антенны БС 23 дБм, усиления на передаче и приеме 10 дБ, ширина канала – 20 МГц, тепловой шум -174 дБ/Гц. Проанализируйте поведение кривых. Какое основное изменение при переходе к терагерцовому диапазону частот? Как это влияет качественно и количественно на дальность связи? Что необходимо для увеличения дальности связи? Что произойдет с SNR при увеличении доступной полосы частот в терагерцовом диапазоне? Почему эта

- зависимость нелинейная? Коэффициент абсорбции среды на заданной частоте найдите в базе данных NITRAN.
2. Задавшись некоторой чувствительностью приемника (например, -70 дБ) постройте зависимости максимальной дальности связи от мощности передачи, усиления антенн, а также нескольких значений несущей, 0.3, 1, и 3 ТГц. Коэффициент абсорбции среды на заданной частоте найдите в базе данных NITRAN.
 3. Постройте зависимость скорости Шэннона от параметров как функцию от дистанции для 28 ГГц и 0.3 ТГц, предположив излучаемую мощность антенны БС 23 дБм, усиления на передаче и приеме 10 дБ, ширина канала – 20 МГц, тепловой шум -174 дБ/Гц. Проанализируйте полученную зависимость.

Практическое задание №4. Блокировка и распространение

1. Постройте зависимость вероятности блокировки от дистанции и плотности blockers для приняв за радиус blocker – 0.3м, высоту blocker – 1.7м, высоту АУ – 1.5м, высоту БС – 10м. Проанализируйте поведение кривых. Что происходит при изменении параметров высот? Для какого типа связи D2D или АУ-БС вероятность блокировки больше?
2. Предположив, что высота blocker – нормально распределенная СВ со средним 1.7 и СКО 1 определите вероятность блокировки и сравните с вероятностью, получаемой при фиксированной высоте? Постройте графики зависимости от дистанции. Какова разница и тенденция с увеличением дистанции? Сделайте вывод об аккуратности аппроксимации случайной высоты blocker фиксированным значением.
3. Предположив, что блокировка приводит к потере в уровне мощности принимаемого сигнала в 20 дБ и используя модель FSPL28 ГГц, излучаемую мощность антенны БС 23 дБм, усиления на передаче и приеме 10 дБ, ширина канала – 20 МГц, тепловой шум -174 дБ/Гц определите оптимальную высоту БС, которая максимизирует уровень принятого сигнала. Реалистичен ли полученный результат?
4. Предположите, что блокировка ведет к полной потере сигнала, определите существует ли оптимальная высота БС? Почему?

Практическое задание №5. Антенные решетки

1. Используя упрощенные аналитические модели антенной решетки (конус и конус плюс сфера) постройте зависимость усиления антенн от угла направленности решетки. Для модели конус плюс сфера постройте графики, соответствующие разным коэффициентам потери, 0.01, 0.1 и 0.2. Проанализируйте полученный результат. В чем основная разница между моделями с точки зрения моделирования сетей беспроводной связи?
2. Используя связи угла направленности с количеством антенных элементов $\sim 102^\circ/N$ упрощенные аналитические модели антенной решетки (конус и конус плюс сфера) постройте зависимость усиления от количества антенных элементов. Сравните полученный результат с аппроксимацией, при которой усиление решетки примерно равно количеству антенных элементов. С чем связана неточность?
3. Постройте трехмерный график зависимости усиления антенной решетки от углов направленности по вертикали и в плоскости для трёхмерной аналитической модели. Соотнесите полученные результаты с двухмерной моделью конуса.
4. Сделайте выводы об использовании различных моделей антенных решеток в прикладные исследования. Какая является более точно и реалистичной?

Практическое задание №6. Преобразования СВ для потерь, SNR и скорости Шеннона

1. Предположите, что передатчик и приёмник находятся на случайном расстоянии. Используя модель распространения FSPL определите ФР потерь распространения предположив, что расстояние распределено по следующим законам: (i) равномерно от 1 до 100 м, (ii) нормально с средним 50 и дисперсией 20, (iii) экспоненциально со средним 50.
2. В условиях предыдущей задачи определите ФР уровня принимаемого сигнала в линейной шкале предположив дополнительно излучаемую мощность антенны БС 23 дБм, усиления на передаче и приеме 10 дБ.
3. В условиях предыдущих задач определите ФР SNR и скорости Шеннона предположив дополнительно ширину канала – 20 МГц, тепловой шум -174 дБ/Гц.
4. Предположите, что передатчик и приёмник находятся на случайном расстоянии в поле блокировки с плотностью a блокеров на квадратный метр. Предполагая чувствительность приемника -70 дБ и потери блокировки 20 дБ определите максимально возможную дальность связи на частоте 28 ГГц и 0.3 ТГц в состоянии блокировки.
5. Используя модель распространения FSPL определите ФР SNR и скорости Шеннона с учетом блокировки предположив, что расстояние распределено по следующим законам: (i) равномерно от 1 до 100 м, (ii) нормально с средним 50 и дисперсией 20, (iii) экспоненциально со средним 50 предположив дополнительно излучаемую мощность антенны БС 23 дБм, усиления на передаче и приеме 10 дБ, ширина канала – 20 МГц, тепловой шум -174 дБ/Гц.

Практическое задание №7. Формула Кэмбелла для оценки интерференции

1. Получите графики зависимости среднего значения и второго момента интерференции от параметров (направленности антенн, плотностей БС и блокеров) на случайно выбранном АУ в Пуассоновском поле БС с плотностью b , БС на км, используя формулу Кэмбелла при предположениях, что поле блокеров – Пуассоновское с некоторой плотностью a , используя модель FSPL, предположив дополнительно излучаемую мощность антенны БС – 23 дБм, усиления на передаче и приеме – 10 дБ, направленности антенн 10° (используйте упрощенную двухмерную аналитическую модель), радиус области интерференции – 1 км. Проанализируйте полученные кривые. Что происходит с интерференцией при изменении параметров и почему?
2. Предположите, что блокеры отсутствуют. Получите результаты и сравните с пунктом 1. Что происходит с интерференцией? Каково влияние блокеров на интерференцию?
3. Рассмотрите системы с всенаправленными антеннами. Посчитайте среднее значение интерференции и поясните полученные результаты.

Практическое задание №8. Использование разложения Тейлора для оценки скорости и SINR

1. Получите аппроксимацию второго порядка для среднего значения функции SINR и скорости Шеннона методом разложения в ряд Тейлора при условии, что единственным случайным компонентом является расстояние между передатчиком и приемником. Поясните каждый из переходов. Предположив, что это расстояние распределено (i) равномерно от 1 до 100 м, (ii) нормально с средним 50 и дисперсией 20, (iii) экспоненциально со средним 50, и также, используя модель FSPL, предположив дополнительно излучаемую мощность антенны БС 23 дБм, усиления на пере-

- даче и приеме 10 дБ, ширина канала – 20 МГц, тепловой шум -174 дБ/Гц, интерференция постоянна и равна 10 дБ.
- Сравните полученный результат с прямым решением при помощи известного выражения для среднего: $E[X] = \int g(x)dF(x)$, где $g(x)$ – функция SINR или скорости Шеннона. $F(x)$ функция распределения расстояния между передатчиком и приемником. Проанализируйте полученные результаты.
 - Получите аппроксимацию второго порядка для среднего значения функции SINR и скорости Шеннона методом разложения в ряд Тейлора при условии, что случайных факторов два – расстояние между передатчиком и приемником и расстояние до интерферирующего устройства. Поясните каждый из переходов. Постройте графики исходя из предположения, что первый компонент распределен равномерно от 1 до 100 м, второй равномерно от 1 до 100 м или равномерное от 50 до 150. В качестве численных значений параметров используйте пункт 1. Объясните полученные результаты.

Список вопросов для итогового контроля знаний

Итоговый контроль знаний по дисциплине проводится в форме компьютерного тестирования.

- Назовите основную организацию осуществляющую стандартизацию сотовых сетей связи.
- Назовите одну из технологий сотовой связи второго поколения.
- К какому поколению сетей связи относятся сети LTE?
- Объясните понятие интерференции (помехи) в сотовых сетях связи.
- Чем отличаются понятия SIR и SINR?
- В каком диапазоне частот будут работать сети 5G?
- Выпишите формулу Шеннона для теоретической скорости канала связи и объясните переменные, входящие в выражение?
- Предположите основной способ наращивания емкости сотовой сети на абонентском участке доступа.
- Назовите несколько принципиальных отличий сетей связи пятого поколения от сетей 4G.
- Назовите несколько методов наращивания пропускной способности сетей связи на основе сетевых механизмов
- Какие эффекты влияют на распространение радиоволн миллиметрового диапазона частот?
- Опишите методологию использования стохастической геометрии для анализа беспроводных сетей связи.
- Какой дополнительный элемент случайности вносят беспроводные сети по сравнению с проводными?
- Какой эффект оказывает направленность антенн на SIR и SINR?
- Дана случайная величина X с плотностью вероятности $f_X(x)$, $x > 0$. Найти плотность вероятности случайной величины Y связанной с X функциональной зависимостью $Y = A * X^B$.
- Предположим, что приемник и интерферирующее устройство находятся на расстоянии x , обладают диаграммами направленности с углом сектора антенны a , которые ориентированы случайно и равномерно в диапазоне $(0, 2\pi)$ независимо друг от друга. Определите вероятность того, что интерферирующее устройство создает помеху на приемнике.

- Предположим, что приемник и передатчик находятся на расстоянии x друг от друга. На плоскости определен Пуассоновский процесс блокаторов с интенсивностью a , блокаторов на квадратный метр. Высота приемника и передатчика равна, h , высоты блокаторов, h_B , $h_B > h$, диаметр блокатора – r . Определите вероятность блокировки пути распространения сигнала между передатчиком и приемником. Подсказка: вероятность того, что в замкнутой области с площадью S отсутствуют точки Пуассоновского процесса с интенсивностью a равна: $\exp(-aS)$.