

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**

Моделирование беспроводных сетей

### **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:** Целью курса «Моделирование беспроводных сетей» является освоение учащимися навыков моделирования беспроводных сетей 5G New Radio (5G NR).

Для достижения цели решаются следующие задачи:

- Оценивание характеристик производительности сетей доступа 5G New Radio;
- Формирование устойчивых навыков решения задач математического моделирования и постановки модельного компьютерного эксперимента.

**2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:**

Дисциплина относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана по направлению 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии».

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)
<b>Общекультурные компетенции</b>			
	УК-1, УК-7	—	Методы стохастического анализа телекоммуникаций Математическая теория телетрафика Модели ресурсных систем массового обслуживания, Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G, Модели мультисервисных сетей, Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>			
	ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3;	—	Методы стохастического анализа телекоммуникаций Математическая теория телетрафика Модели ресурсных систем массового обслуживания, Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G, Модели мультисервисных сетей, Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G
<b>Профессиональные компетенции (вид профессиональной деятельности - научно-исследовательская деятельность)</b>			

	ПК-1	—	Методы стохастического анализа телекоммуникаций Математическая теория телетрафика Модели ресурсных систем массового обслуживания, Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G, Модели мультисервисных сетей, Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G
--	------	---	--

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

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

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины:

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

*(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-2** Способен применять компьютерные/суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение (в том числе отечественного производства) для решения задач профессиональной деятельности.
- **ОПК-2.1** Знает основные положения и концепции в области программирования, архитектуру языков программирования, теории коммуникации, знает основную терминологию, знаком с перечнем ПО, включенного в Единый Реестр Российских программ.
  - **ОПК-2.2** Умеет анализировать типовые языки программирования, составлять программы.
  - **ОПК-2.3** Имеет практический опыт решения задач анализа, интеграции различных типов программного обеспечения, анализа типов коммуникации.
- 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-3.3** Имеет практический опыт применения и разработки программного обеспечения, тестирования программных продуктов.
- ПК-1** Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований:
- **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

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:**

- основные понятия и определения, относящиеся к концепции информационных технологий;
- основные типы стандартов, их жизненный цикл, современные отраслевые стандарты, подходы к проектированию сложных информационных систем на базе с использованием современных информационных технологий;
- архитектуру беспроводных сетей стандарта 5G.

**Уметь:**

- находить описание и разбираться в современных информационных технологиях;

- обосновывать применение технологий при проектировании беспроводной сети в зависимости от постановки задач.

**Владеть:**

- шаблонами проектирования современных систем, нотациями для описания дизайна и процессов, протекающих в современных информационных системах;
- навыками проектирования беспроводных коммуникационных систем;
- терминологией в области беспроводных коммуникационных технологий.

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц.

№	Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
			1 (модуль 1)
1.	<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
1.1	Лекции	18	18
1.2.1	Практические занятия (ПЗ)	-	-
1.2.2	Семинары (С)	-	-
1.2.3	Лабораторные работы (ЛР)	18	18
2.	<b>Самостоятельная работа студентов (ак. часов)</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
4.	<b>Общая трудоемкость (ак. часов)</b>	<b>180</b>	<b>180</b>
4.	<b>Общая трудоемкость (зачетных единиц)</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Архитектура сетей доступа 5G NR	Тема 1.1. Гетерогенность, требования к обслуживанию, основные услуги, стандартизация беспроводных сетей
2.	Модели компонентов сетей связи 5G NR и методология оценки базовых характеристик систем 5G NR	Тема 2.1. Двухмерные и трехмерные сценарии применения антенн Тема 2.2. Модели компонентов: размещения пользователей, распространения сигнала, антенн, блокировки в двух и трехмерных сценариях Тема 2.3. Интерференция, функциональные преобразования случайных величин, прямое взаимодействия устройств
3.	Оценка базовых характеристик систем 5G NR	Тема 3.1. Общая модель на основе случайных полей, статическая модель блокировки Тема 3.2. Вероятность экспозиции, вероятность экспозиции совместно с вероятностью блокировки Тема 3.3. Формула Кэмпбелла для оценки интерференции Тема 3.4. Анализ интерференции для разных типов антенн, формула Шеннона, спектральная эффективность

## 5.2. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Лаб. зан.	СРС	Контроль	Всего час.
1.	Архитектура сетей доступа 5G New Radio	2	2	17	4	25
2.	Модели компонентов сетей связи 5G NR и методология оценки базовых характеристик систем 5G NR	6	6	40	8	60
3.	Оценка базовых характеристик систем 5G New Radio	10	10	60	15	95
<b>Итого:</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>117</b>	<b>27</b>	<b>180</b>

## 6. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика лабораторных занятий	Трудоемкость (час.)
1.	1	Изучение инструментальной среды имитационного моделирования для исследования характеристик беспроводных сетей стандарта 5G	1
2.	2	Методы оценки статических характеристик, связанных с распределением пользователей на плоскости	1
3.	2	Исследование распределений и моментов связанных с преобразованием случайных величин	2
4.	2	Исследование моделей размещения пользователей и распространения сигнала	2
5.	3	Исследование вероятности экспозиции совместно с вероятностью блокировки на основе модели антенн	3
6.	3	Построение общей модели на основе случайных полей и статической модели блокировки	3
7.	3	Построение моделей помех с применением формулы Кэмпбелла	3
8.	3	Анализ помех для разных типов антенн	3
<b>Итого</b>			<b>18</b>

## 7. Практические занятия (семинары) – не предусмотрены программой курса

### 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 Linux, офисный пакет LibreOffice (лицензия MPL-2.0), ПО для просмотра pdf (например, evince (лицензия GPL-2+ CC-BY-SA-3.0)), интерпретатор Python версии 3.5, компилятор языка C/C++ gcc (лицензия GPL-3+ LGPL-3+ || ( GPL-3+ libgcc libstdc++ gcc-runtime-library-exception-3.1 ) FDL-1.3+), app-editors/jedit (лицензия BSD GPL-2), javac, app-shells/bash (лицензия GPL-3) app-editors/vim (лицензия vim), app-editors/gedit (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>
- 3GPP <https://www.3gpp.org>

## 10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

а) основная литература

1. 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.
2. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Левин, Б. Р. – Советское радио, 1976.
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. Современные информационные каналы и системы связи: учебник / В.А. Майстренко, А.А. Соловьев, М.Ю. Пляскин, А.И. Тихонов ; Минобрнауки России, Омский государственный технический университет, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Академия военных наук Российской Федерации. - Омск : Издательство ОмГТУ, 2017. - 452 с. : табл., граф., схем., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8149-2458-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493441>
7. Мультисервисные сети связи [Текст/электронный ресурс]: Учебно-методический комплекс / К.Е. Самуйлов, П.О. Абаев. - Электронные текстовые данные. - М. : Изд-во РУДН, 2013. - 363 с. - ISBN 978-5-209-05014-8 : 389.82. - [http://lib.rudn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=Rudn\\_FindDoc&id=403183&idb=0](http://lib.rudn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=Rudn_FindDoc&id=403183&idb=0)
8. 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.
9. Бочаров, П.П. Теория вероятностей. Математическая статистика / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. – 2-е изд. – Москва : Физматлит, 2005. – 296 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>.
  - 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.
  - Молчанов Д.А. Оценка характеристик интерференции при взаимодействии беспроводных устройств в смежных помещениях прямоугольной формы. / Ю.В. Гайдамака, А.К. Самуйлов, В.О. Бегишев и др. //Т-Comm. Связь. — 2015, — Т. 10, № 11, — С. 41–45. — 0,58 / 0,33 п.л.
  - Молчанов Д.А. Анализ пропускной способности и характеристик частотного спектра в сетях связи сверхмалого радиуса действия в терагерцовом диапазоне / Боронин П.Н., Кучерявый Е.А., Молчанов Д.А. // Электросвязь. — 2014. — № 11. — С. 18-21. — 0,32 / 0,15 п.л.
  - Кисель, Н.Н. Моделирование распространения радиоволн в пакете Wireless InSite : учебное пособие / Н.Н. Кисель ; Министерство науки и высшего образования РФ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Инженерно-технологическая академия. - Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2018. - 108 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9275-2698-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=499698>
  - Бочаров П. П. Теория массового обслуживания : учебник для вузов / П. П. Бочаров, А. В. Печинкин. - Москва: Изд-во РУДН, 1995. [Электронный ресурс]. - URL: <http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPSTUbooks27620>
  - Rappaport T. S. et al. Wireless communications: principles and practice. – New Jersey: prentice hall PTR, 1996. – Т. 2.
  - Andrews, Jeffrey G., et al. "Femtocells: Past, present, and future." IEEE Journal on Selected Areas in Communications 30.3 (2012): 497-508

## **11. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины:**

Учебным планом на изучение дисциплины отводится 1 семестр (1 модуль). В течение указанного периода проводятся лекционные занятия и лабораторные работы. Итоговая оценка проставляется по набранным баллам за семестр (модуль) и за итоговый контроль знаний (экзамен).

## **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, к.ф.-м.н.



В.О. Бегишев

### **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**

Моделирование беспроводных сетей

(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:**

## Моделирование беспроводных сетей

Направление: 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

Код контролируемой компетенции или ее части	Раздел	Тема	Формы контроля уровня освоения ООП		Баллы темы	Баллы раздела
			Аудиторная работа	СНС		
			Выполнение ЛР	Экзамен		
УК-1, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1	Архитектура сетей доступа 5G New Radio	Гетерогенность, требования к обслуживанию, основные услуги, стандартизация беспроводных сетей	5	5	10	<b>10</b>
	Модели компонентов сетей связи 5G NR и методология оценки базовых характеристик систем 5G NR	Двухмерные и трехмерные сценарии применения антенн	25	7	32	<b>32</b>
		Модели компонентов: размещения пользователей, распространения сигнала, антенн, блокировки в двух и трехмерных сценариях				
		Интерференция, функциональные преобразования случайных величин, прямое взаимодействия устройств				
Оценка базовых характеристик систем 5G New Radio	Общая модель на основе случайных полей, статическая модель блокировки	50	8	58	<b>58</b>	
	Вероятность экспозиции, вероятность экспозиции совместно с вероятностью блокировки					
	Формула Кэмпбелла для оценки интерференции					
	Анализ интерференции для разных типов антенн, формула Шеннона, спектральная эффективность					
<b>Итого:</b>			<b>80</b>	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: УК-1; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ПК-1  
(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-2** Способен применять компьютерные/суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение (в том числе отечественного производства) для решения задач профессиональной деятельности.

- **ОПК-2.1** Знает основные положения и концепции в области программирования, архитектуру языков программирования, теории коммуникации, знает основную терминологию, знаком с перечнем ПО, включенного в Единый Реестр Российских программ.
- **ОПК-2.2** Умеет анализировать типовые языки программирования, составлять программы.
- **ОПК-2.3** Имеет практический опыт решения задач анализа, интеграции различных типов программного обеспечения, анализа типов коммуникации.

**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-3.3** Имеет практический опыт применения и разработки программного обеспечения, тестирования программных продуктов.

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

- **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

## Балльно-рейтинговая система оценки уровня знаний

### Сводная оценочная таблица дисциплины

Раздел	Тема	Формы контроля уровня освоения ООП		Баллы темы	Баллы раздела
		Аудиторная работа	Экзамен		
		Выполнение ЛР			
Архитектура сетей доступа 5G New Radio	Гетерогенность, требования к обслуживанию, основные услуги, стандартизация беспроводных сетей	5	5	10	<b>10</b>
Модели компонентов сетей связи 5G NR и методология оценки базовых характеристик систем 5G NR	Двухмерные и трехмерные сценарии применения антенн	25	7	32	<b>32</b>
	Модели компонентов: размещения пользователей, распространения сигнала, антенн, блокировки в двух и трехмерных сценариях				
	Интерференция, функциональные преобразования случайных величин, прямое взаимодействие устройств				
Оценка базовых характеристик систем 5G New Radio	Общая модель на основе случайных полей, статическая модель блокировки	50	8	58	<b>58</b>
	Вероятность экспозиции, вероятность экспозиции совместно с вероятностью блокировки				
	Формула Кэмпбелла для оценки интерференции				
	Анализ интерференции для разных типов антенн, формула Шеннона, спектральная эффективность.				
<b>Итого:</b>		<b>80</b>	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**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 лабораторных работ) 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 одnorазового 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
<b>Аудиторная работа</b>			
1.	Лабораторная работа	Система практических заданий, направленных на формирование практических навыков у обучающихся	Фонд практических заданий
2.	Экзамен	Оценка работы студента в течение семестра (года, всего срока обучения и др.) и призван выявить уровень, прочность и систематичность полученных им теоретических и практических знаний, приобретения навыков самостоятельной работы, развития творческого мышления, умение синтезировать полученные знания и применять их в решении практических задач.	Комплект заданий для экзамена
<b>Самостоятельная работа</b>			
3.	Подготовка отчётов по результатам выполнения лабораторных работ	Форма проверки качества выполнения студентами лабораторных работ в соответствии с утверждённой программой	Фонд практических заданий в рамках лабораторного практикума по дисциплине

Оценка работы студента в течение семестра выставляется по сумме набранных баллов за лабораторные работы и итоговый контроль (экзамен).

Предлагаются к выполнению 8 лабораторных работ (5, 7, 8, 10, 10, 10, 15, 15, 15, в сумме 80 баллов) и сдача экзамена на 20 баллов. Задания и отчеты по лабораторным работам выполняются и готовятся студентом самостоятельно (индивидуально), на лабораторном занятии студент может получить консультацию и методические указания от преподавателя.

Итоговый контроль (экзамен) по дисциплине проводится в форме компьютерного тестирования. При необходимости может проводиться экзамен в устной (или письменной) форме по билетам.

### Темы лабораторных работ:

#### Раздел 1. Архитектура сетей доступа 5G NR

**Лабораторная работа 1.** Изучение инструментальной среды имитационного моделирования для исследования характеристик беспроводных сетей стандарта 5G.

- Ознакомление со средой имитационного моделирования на языке программирования Python (или любой другой язык по желанию студента). Изучить основные типы данных, команды ввода и вывода данных, статистические методы работы с данными.

Задание 1. Построить матрицу с количеством строк 10 и столбцов 2, переменные заполняются случайными числами с равномерным распределением. Нанести полученные сгенерированные случайные числа на график в виде точек.

Задание 2. Сгенерировать 1000 случайных чисел с любым известным распределением и построить их гистограмму, математическое ожидание, дисперсию.

Задание 3. Сгенерировать случайную точку, равномерно распределенную в квадрате со стороной  $a$ .

## **Раздел 2. Модели компонентов сетей связи 5G NR и методология оценки базовых характеристик систем 5G NR**

**Лабораторная работа 2.** Методы оценки статических характеристик, связанных с распределением пользователей на плоскости.

Задание 1. Сгенерировать выборку случайных чисел размером 100 и 1000 для двух распределений – экспоненциального и нормального. Для созданных выборок сделать следующее:

- Посчитать выборочное среднее и дисперсию, сравнить с математическим ожиданием соответствующих распределений;
- Посчитать 0.5 и 0.99 квантили, сравнить с соответствующими теоретическими значениями;
- Построить гистограмму распределения;
- Построить функцию распределения случайной величины на основе выборки (на одном графике показать функции распределения, полученные из выборок разного размера и теоретическую);
- Построить плотность распределения случайной величины на основе выборки (на одном графике показать плотности распределения, полученные из выборок разного размера и теоретическую).

В итоге проанализировать зависимость точности аппроксимации от количества экспериментов.

Задание 2. Сгенерировать три выборки размера 100, 1000 и 10000 для случайных расстояний между двумя точками, равномерно распределенные в прямоугольнике со сторонами 10 и 30. Получить среднее значение расстояния между точками, построить функцию распределения вероятностей и плотности вероятностей случайных расстояний. Показать разницу между соответствующими функциями на одном графике.

**Лабораторная работа 3.** Исследование распределений и моментов связанных с преобразованием случайных величин

Задание. Сгенерировать выборку точек, равномерно распределенных внутри круга двумя способами:

- Равномерно распределить точки внутри квадрата, внутрь которого вписана окружность, и отфильтровать точки, лежащие за пределами окружности.
- Генерировать точки путем задания случайного угла и расстояния от центра окружности.

Радиус окружности  $R=10$ , размер выборки 1000 точек.  
Для созданных выборок сделать следующее:

- Создать рисунок, иллюстрирующий расположение точек сгенерированной выборки внутри окружности;



- Найти выборочные средние координат точек и их дисперсию;
- Построить график плотности распределения расстояния от случайной равномерно распределенной точки в круге до фиксированной точки лежащей вне окружности (к примеру, с координатами  $X=20, Y=0$ ).
- Построить график плотности распределения расстояния между двумя случайными точками, равномерно расположенными внутри круга.

**Лабораторная работа 4.** Исследование моделей размещения пользователей и распространения сигнала

Задание. Построить согласно описанному ниже алгоритму имитационную модель, позволяющую рассчитать вероятность блокировки линии прямой видимости, и сравнить полученную характеристику с результатами математической модели.

1. В квадратной области со стороной  $A$  согласно точечному Пуассоновскому процессу с плотностью  $q$  разместить объекты (окружности с фиксированным радиусом  $r$ ), которые могут заблокировать линию прямой видимости между двумя точками, размещенными на расстоянии  $x$  друг от друга внутри обозначенной области. Проверить блокирует ли хотя бы один объект линию прямой видимости.
2. Количество блокирующих объектов определяется согласно распределению Пуассона с параметром  $qA^2$ , а объекты вбрасываются независимо друг от друга. При этом центры блокирующих объектов должны быть распределены равномерно внутри рассматриваемой области.

На основе описанного выше алгоритма получить 1000 реализаций факта блокировки линии прямой видимости и рассчитать вероятность блокировки линии прямой видимости в поле блокирующих объектов. Полученный результат сравнить с результатами математической модели

**Раздел 3. Оценка базовых характеристик систем 5G New Radio.**

**Лабораторная работа 5.** Исследование вероятности экспозиции совместно с вероятностью блокировки на основе модели антенн.

Задание. В условиях предыдущей лабораторной работы №4, на двух точках, между которыми производится проверка прямой видимости, формируется диаграмма направленности, задающаяся вектором направления и углом. Предполагается, что если для обеих из рассматриваемых точек вторая точка лежит внутри сектора, описанного вектором и углом и линия прямой видимости между ними не заблокирована, то точки находятся в области видимости друг друга.

При условии, что направление вектора диаграммы задается случайно равномерно распределенной величиной от 0 до  $2\pi$ , а угол является константой, определить находятся ли рассматриваемые точки в области видимости друг друга.

На основе 1000 реализаций определить вероятность нахождения точек в области видимости друг друга. Полученный результат сравнить с результатами математической модели.

**Лабораторная работа 6.** Построение общей модели на основе случайных полей и статической модели блокировки.

Задание. В круге радиуса  $R$ , центром которого является целевой приемник, распределены согласно Пуассоновскому равномерному точечному процессу с интенсивностью  $V$  интерферирующие устройства. На целевом приемнике

расположена всенаправленная антенна, а интерферирующие устройства оборудованы направленными антеннами с углом диаграммы направленности  $\gamma$ . Предполагается, что все антенны сориентированы случайным образом и постоянно излучают сигнал с мощностью  $P$ . При этом применяется модель распространения сигнала Cone (аналог модели Free Space Path Loss с поправкой на коэффициент диаграммы направленности). В этом же круге согласно Пуассоновскому равномерному точечному процессу с интенсивностью  $A$  распределены блокирующие объекты радиуса  $D$ . Для упрощения интерферирующие устройства не считать блокирующими объектами.

В случае если сигнал от интерферирующего передатчика до целевого приемника проходит через блокирующий объект, то он не создает помех на целевом приемнике. Аналогично, если целевой приемник не попадает в сектор диаграммы направленности интерферирующего передатчика, то соответствующий интерферирующий сигнал тоже не создает помех.

На основе полученной модели построить графики среднего значения интерференции как функции от направленности антенн  $\gamma$ , интенсивности Пуассоновского поля источников интерферирующих устройств  $B$ , интенсивности Пуассоновского поля блокирующих объектов  $A$ . При построении графиков использовать как минимум 1000 реализаций.

### **Лабораторная работа 7.** Построение моделей помех с применением формулы Кэмпбелла.

Задание 1. Для двумерной модели развёртывания рассчитайте мощность интерференции с блокировкой и без. Постройте график среднего значения интерференции как функции от дистанции между передатчиков и приемником. Сравните полученные результаты. В качестве параметров выберите следующие: горизонтальная направленность антенны -  $\pi/18$ , интенсивность блокирующих объектов – 1 объект на квадратный метр, коэффициент  $A = 1$ .

Задание 2. Для двумерной модели развёртывания рассчитайте мощность интерференции с молекулярной абсорбцией и без. Постройте график среднего значения интерференции как функции от дистанции между передатчиков и приемником. Сравните полученные результаты. В качестве параметров выберите следующие: горизонтальная направленность антенны -  $\pi/18$ , интенсивность блокирующих объектов – 1 объект на квадратный метр, коэффициент  $A = 1$ . Сделайте вывод о том, следует ли учитывать молекулярную абсорбцию.

### **Лабораторная работа 8.** Анализ помех для разных типов антенн.

Задание 1. Рассчитайте усиление в направлении передачи,  $G$ , для фазовой антенной решетки с 32, 16 и 8 горизонтальными элементами и 1 вертикальным элементом для двумерной и трехмерной антенны. Используйте таблицы для определения угла направленности. Сравните полученные результаты между собой и с результатами, приведенными в Таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты усиления основного лепестка антенны.

Решетка	Усиление	Усиление, дБ
64x1	57.51	17.59
32x1	28.76	14.58
16x1	14.38	11.57
8x1	7.20	8.57
4x1	3.61	5.57

Таблица 2. Угол направленности основного лепестка антенны.

Решетка	Вычисление	Аппроксимация
64x1	1.585	1.594
32x1	3.171	3.188
16x1	6.345	6.375
8x1	12.71	12.75

**Задание 2.** *Рассчитайте вероятность блокировки в двухмерной и трехмерной модели для высоты базовой станции 10 м, высоты приемника 1.4 м, высоты человека 1.7 м. В случае двухмерного сценария высоту базовой станции взять равной высоте приемника. Построить график зависимости вероятностей от интенсивности блокирующих объектов, оценить и сравнить полученные результаты.*

**Задание 3.** *Используя формулу Кэмпбелла получите оценки спектральной эффективности и скорости Шеннона предполагая, что полоса частот и расстояние между передатчиком и приемников фиксированные величины. Сопровождайте вычисления пояснениями.*

*Постройте графики зависимости указанных величин, а также среднего значения помехи, как функции от плотности источников помехи. Сделайте выводы относительно изменений исследуемых величин.*

#### **Методические указания и шкала оценок.**

**Порядок выполнения лабораторной работы заключается в следующем:**

- Ознакомиться с разделами методических указаний к данной лабораторной работе.
- Выполнить задания лабораторной работы.
- Составить отчёт.

**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 лабораторных работ;
- высокий уровень культуры исполнения лабораторных работ;
- 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 лабораторных работ;
- высокий уровень культуры исполнения лабораторных работ;
- 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 лабораторных работ;
- хороший уровень культуры исполнения лабораторных работ;
- 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 лабораторных работ;
- 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 лабораторных работ;
- 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.

## Комплект заданий для экзамена

Дисциплина \_\_\_\_\_ Моделирование беспроводных сетей \_\_\_\_\_  
(наименование дисциплины)

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА – БИЛЕТ № 1

1. Перечислите основные стандартизирующие организации по сотовым сетям связи и опишите их основные отличительные особенности. Сети беспроводного доступа 5G: основные свойства, услуги.
2. Сети доступа «Новое Радио»: Release 16 3GPP, характеристики обслуживания. Примеры развертывания технологии 5G «Новое Радио».

Составитель

В.О. Бегишев

Заведующий кафедрой

К.Е. Самуйлов

Дисциплина \_\_\_\_\_ Моделирование беспроводных сетей \_\_\_\_\_

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА – БИЛЕТ № 2

1. Модели компонентов системы связи 5G «Новое Радио». Модели в двумерном пространстве. Модели в трехмерном пространстве.
2. Оценка характеристик сетей 5G «Новое Радио». Методология оценки характеристик. Функции случайных величин. Модели прямого взаимодействия устройств.

Составитель

В.О. Бегишев

Заведующий кафедрой

К.Е. Самуйлов

Дисциплина \_\_\_\_\_ Моделирование беспроводных сетей \_\_\_\_\_

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА – БИЛЕТ № 3

1. Оценка интерференции в случайных сетях. Двухмерный сценарий развертывания. Трехмерный сценарий развертывания. Численные примеры.
2. Оценка характеристик сетей 5G «Новое Радио». Общая методология оценки характеристик сети. Двухмерный сценарий развертывания. Трехмерный сценарий развертывания. Численные примеры.

Составитель

В.О. Бегишев

Заведующий кафедрой

К.Е. Самуйлов

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА – БИЛЕТ № 4**

1. Предположите основной способ наращивания емкости сотовой сети на абонентском участке доступа. Какие эффекты влияют на распространение радиоволн миллиметрового диапазона частот?
2. Объясните понятие интерференции (помехи) в сотовых сетях связи.

Составитель

В.О. Бегишев

Заведующий кафедрой

К.Е. Самуйлов

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА – БИЛЕТ № 5**

1. Выпишите формулу Шеннона для теоретической скорости канала связи и объясните переменные, входящие в выражение.
2. Опишите методологию использования стохастической геометрии для анализа беспроводных сетей связи.

Составитель

В.О. Бегишев

Заведующий кафедрой

К.Е. Самуйлов

#### **Критерии оценки:**

- выполнение мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
- уровень культуры выполнения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
- участие в мероприятиях, предусмотренных программой дисциплины
- оформление отчетных материалов по мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации в строгом соответствии с требованиями программы дисциплины
- владение информационным обеспечением дисциплины, умение использовать его в постановке и решении научных и профессиональных задач
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной программой дисциплины