

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Ястребов Олег Александрович

Должность: Ректор

Дата подписания: 10.06.2022 10:31:33

Уникальный программный ключ:

ca953a0120d891083f939673078ef1a9896ae18a

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

**Факультет физико-математических и естественных наук**

(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G**

(наименование дисциплины/модуля)

**Рекомендована МССН для направления подготовки:**

**02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии**

(код и наименование направления подготовки/специальности)

**Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):**

**Управление инфокоммуникациями и интеллектуальные системы**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

**2022 г.**

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G» 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.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций): УК-1; УК-7; ОПК-1; ОПК-3; ОПК-4; ПК-1; ПК-2.

*Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)*

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
УК-1	Способен осуществлять 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	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

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
	информации, ее достоверность, строить логические умозаключения	
ОПК-1	Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий	<p>ОПК-1.1 Обладает фундаментальными знаниями в области математических и естественных наук, теории коммуникаций</p> <p>ОПК-1.2 Умеет осуществлять первичный сбор и анализ материала, интерпретировать различные математические объекты</p> <p>ОПК-1.3 Имеет практический опыт работы с решением математических задач и применяет его в профессиональной деятельности</p>
ОПК-3	Способен проводить анализ математических моделей, создавать инновационные методы решения прикладных задач профессиональной деятельности в области информатики и математического моделирования.	<p>ОПК-3.1 Знает методы теории алгоритмов, методы системного и прикладного программирования, основные положения и концепции в области математических, информационных и имитационных моделей.</p> <p>ОПК-3.2 Умеет соотносить знания в области программирования, интерпретацию прочитанного, определять и создавать информационные ресурсы глобальных сетей, образовательного контента, средств тестирования систем</p>
ОПК-4	Способен оптимальным образом комбинировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности	<p>ОПК-4.1 Знает принципы сбора и анализа информации, создания информационных систем на стадиях жизненного цикла</p> <p>ОПК-4.2 Умеет осуществлять управление проектами информационных систем</p> <p>ОПК-4.3 Имеет практический опыт анализа и интерпретации информационных систем</p>

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
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 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)

### 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 ОП ВО.

В рамках ОП ВО обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G».

Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики <sup>1</sup>
УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	Моделирование беспроводных сетей; Методы стохастического анализа телекоммуникаций	Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями; Модели ресурсных систем массового обслуживания
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	Моделирование беспроводных сетей; Методы стохастического анализа телекоммуникаций	Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями; Модели ресурсных систем массового обслуживания
ОПК-1	Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий	Моделирование беспроводных сетей; Методы стохастического анализа телекоммуникаций;	Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями; Модели ресурсных систем массового обслуживания

<b>Шифр</b>	<b>Наименование компетенции</b>	<b>Предшествующие дисциплины/модули, практики*</b>	<b>Последующие дисциплины/модули, практики</b>
ОПК-3	Способен проводить анализ математических моделей, создавать инновационные методы решения прикладных задач профессиональной деятельности в области информатики и математического моделирования	Моделирование беспроводных сетей	Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G
ОПК-4	Способен оптимальным образом комбинировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности	-	Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями
ПК-1	Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	Моделирование беспроводных сетей; Методы стохастического анализа телекоммуникаций;	Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями; Модели ресурсных систем массового обслуживания
ПК-2	Организационное и технологическое обеспечение проектирования и дизайна ИС	-	Показатели эффективности беспроводных сетей 5G/6G; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями;

#### **4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ**

Общая трудоемкость дисциплины «Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G» составляет 4 зачетных единиц.



Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения ОП ВО

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.	Семестр(-ы)
		1
Контактная работа, ак.ч.	36	36
Лекции (ЛК)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	-	-
Практические/семинарские занятия (СЗ)	18	18
Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.	108	108
Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.	-	-
Общая трудоемкость дисциплины	ак.ч.	144
	зач.ед.	4

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы

Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Вид учебной работы <sup>2</sup>
Раздел 1. Эволюция беспроводных сотовых сетей	Тема 1.1. Особенности развития сетей связи, история развития ССС, процесс стандартизации ССС, назначение электромагнитного спектра	ЛК, СЗ
	Тема 1.2. Развитие сетей ССС, особенности поколения, технологические свойства и отличия	ЛК, СЗ
Раздел 2. Методы анализа сотовых сетей связи	Тема 2.1. Сети 4G+: сетевые механизмы наращивания емкости	ЛК, СЗ
	Тема 2.2. Сети 5G “Новое Радио” основные особенности	ЛК, СЗ
	Тема 2.3. Сети 5G “Новое Радио” функциональные особенности радиодоступа	ЛК, СЗ
	Тема 2.4. Сети 5G “Новое Радио” сценарии использования	ЛК, СЗ
	Тема 2.5. Сети терагерцового доступа 6G: приложения	ЛК, СЗ
	Тема 2.6. Сети терагерцового доступа 6G: открытые задачи	ЛК, СЗ
	Тема 2.7. Совмещение методов стохастической геометрии и СМО для анализа сетей 5G NR	ЛК, СЗ
Раздел 3. Математические модели для сетей LTE/5G/6G	Тема 3.1. Моделирование mmWave: потери распространения	ЛК, СЗ
	Тема 3.2. Моделирование mmWave: пространственные характеристики блокировки	ЛК, СЗ
	Тема 3.3. Моделирование mmWave: временные характеристики блокировки	ЛК, СЗ

Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Вид учебной работы
	Тема 3.4. Моделирование mmWave: антенные решетки	ЛК, СЗ
	Тема 3.5. Моделирование mmWave: линейная шкала и особенности терагерцового распространения	ЛК, СЗ
	Тема 3.6. Моделирование mmWave: функциональные преобразования случайных величин для моделирования беспроводных сетей связи	ЛК, СЗ
	Тема 3.7. Моделирование mmWave: методы оценки помехи	ЛК, СЗ
	Тема 3.8. Моделирование mmWave: оценка помехи	ЛК, СЗ
	Тема 3.9. Моделирование mmWave: 3D модели оценки помехи. Параметризация ресурсных СМО	ЛК, СЗ
	Тема 3.10. Борьба с блокировками: мультисвязность для поддержки соединения	ЛК, СЗ
	Тема 3.11. Борьба с блокировками: мультисвязность для поддержки QoS	ЛК, СЗ
	Тема 3.12. Борьба с блокировками: мультисвязность для поддержки QoS, часть II	ЛК, СЗ
	Тема 3.13. Оценка SINR и емкости	ЛК, СЗ
	Тема 3.14. Ресурсные СМО	ЛК, СЗ
	Тема 3.15. Борьба с блокировками: резервация ресурсов	ЛК, СЗ

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Лекционная	Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	Компьютер/ноутбук с доступом сети Интернет и электронно-образовательной среде Университета, браузер, ПО для просмотра PDF, MS Teams.



Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Семинарская	Аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и техническими средствами мультимедиа презентаций.	Компьютер/ноутбук с доступом сети Интернет и электронно-образовательной среде Университета, браузер, ПО для просмотра PDF, MS Teams.
Для самостоятельной работы обучающихся	Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС.	ОС Windows или ОС Linux, офисный пакет MS Office или LibreOffice, ПО для просмотра pdf (например, acrobat reader или evince), интерпретатор Python версии 3.5 и старше, компилятор языка C/C++ gcc, редактор app-editors/jedit.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### *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. 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.
3. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Левин, Б. Р. – Советское радио, 1976.
4. 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.
5. 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.

6. 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.
7. 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>
8. 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)
9. 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.
10. Бочаров, П.П. Теория вероятностей. Математическая статистика / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. – 2-е изд. – Москва : Физматлит, 2005. – 296 с.

*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
2. DOI <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2019-5-51-63>.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

6. 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>
7. 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>
8. Rappaport T. S. et al. Wireless communications: principles and practice. – New Jersey: prentice hall PTR, 1996. – Т. 2.
9. Andrews, Jeffrey G., et al. "Femtocells: Past, present, and future." IEEE Journal on Selected Areas in Communications 30.3 (2012): 497-508

*Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:*

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров:

- Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН <http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web>
- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>
- ЭБС Юрайт <http://www.biblio-online.ru>
- ЭБС «Консультант студента» [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)
- ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС «Троицкий мост»

2. Базы данных и поисковые системы:

- электронный фонд правовой и нормативно-технической документации <http://docs.cntd.ru/>
- поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>
- поисковая система Google <https://www.google.ru/>
- реферативная база данных SCOPUS <http://www.elsevierscience.ru/products/scopus/>
- IETF <https://www.ietf.org/rfc.html>
- 3GPP <https://www.3gpp.org>

*Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля<sup>3</sup>:*

1. Курс видеолекций по дисциплине «Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G».

---

3 - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины в ТУИС

2. Практические работы с видеопояснениями по дисциплине «Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G».

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Оценочные материалы и балльно-рейтинговая система<sup>4</sup> оценивания уровня сформированности компетенций (части компетенций) по итогам освоения дисциплины «Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G» представлены в Приложении к настоящей Рабочей программе дисциплины.

### РАЗРАБОТЧИКИ:

профессор кафедры прикладной  
информатики и теории вероятностей

Должность, БУП



Подпись

Д.А. Молчанов

Фамилия И.О.

### РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:

Зав. кафедрой прикладной  
информатики и теории вероятностей

Наименование БУП



Подпись

К.Е. Самуйлов

Фамилия И.О.

### РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:

Зав. кафедрой прикладной  
информатики и теории вероятностей

Должность, БУП



Подпись

К.Е. Самуйлов

Фамилия И.О.

4 - Ом и БРС формируются на основании требований соответствующего локального нормативного акта РУДН.