

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Ястребов Олег Александрович

Должность: Ректор

Дата подписания: 26.05.2026 14:43:36

Уникальный программный ключ:

ca953a01204891083f939673078ef1a989aae18a

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

**«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»**

**Факультет физико-математических и естественных наук**

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

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ**

(наименование дисциплины/модуля)

**Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:**

#### **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):**

#### **БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ, ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

**2026 г.**

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Моделирование беспроводных сетей» входит в программу магистратуры «Беспроводные сети, интернет вещей и кибербезопасность» по направлению 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии» и изучается в 1 семестре 1 курса. Дисциплину реализует Кафедра теории вероятностей и кибербезопасности. Дисциплина состоит из 3 разделов и 8 тем и направлена на изучение основных понятий беспроводных сетей последующего поколения и освоение учащимися навыков моделирования беспроводных сетей 5G New Radio (5G NR).

Целью освоения дисциплины является формирование устойчивых навыков решения задач математического моделирования и постановки модельного компьютерного эксперимента.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Моделирование беспроводных сетей» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

*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 поиск, критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними; УК-1.2 Осуществляет поиск информации для решения поставленной задачи по различным типам запросов; критически оценивает надежность источников информации, работает с противоречивой информацией из разных источников; УК-1.3 Предлагает варианты решения задачи, анализирует возможные последствия их использования;
ОПК-1	Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий	ОПК-1.1 Обладает фундаментальными знаниями в области прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий; ОПК-1.2 Формулирует и решает задачи прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий; ОПК-1.3 Определяет и применяет математические и иные методы для решения профессиональных задач;
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, знает основную терминологию, знаком с перечнем ПО, включенного в Единый Реестр Российских программ; ОПК-2.2 Определяет и использует компьютерные / суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение для решения задач 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 Анализирует и применяет известные математические модели для описания объектов и процессов своей профессиональной деятельности; ОПК-3.3 Модифицирует и разрабатывает методы решения прикладных задач профессиональной деятельности в области

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
		информатики и математического моделирования;

### 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Моделирование беспроводных сетей» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Моделирование беспроводных сетей».

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

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий		Методы стохастического анализа телекоммуникаций; Построение и анализ моделей беспроводных сетей последующих поколений; Нотации моделирования и методы анализа бизнес-процессов; Показатели эффективности беспроводных сетей последующих поколений; Модели ресурсных систем массового обслуживания; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями; Преддипломная практика; Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Научно-исследовательская работа;
ОПК-1	Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий		Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Научно-исследовательская работа; Методы стохастического анализа телекоммуникаций; Нотации моделирования и методы анализа бизнес-процессов; Пакеты символьных вычислений; Высокопроизводительные

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
			вычисления;
ОПК-2	Способен применять компьютерные / суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение (в том числе отечественного производства) для решения задач профессиональной деятельности		Высокопроизводительные вычисления; Пакеты символьных вычислений; Научно-исследовательская работа;
ОПК-3	Способен проводить анализ математических моделей, создавать инновационные методы решения прикладных задач профессиональной деятельности в области информатики и математического моделирования		Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Научно-исследовательская работа; Высокопроизводительные вычисления; Методы машинного обучения;

\* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

\*\* - элективные дисциплины /практики

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

Общая трудоемкость дисциплины «Моделирование беспроводных сетей» составляет «4» зачетные единицы.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.		Семестр(-ы)
			1
<i>Контактная работа, ак.ч.</i>	36		36
Лекции (ЛК)	18		18
Лабораторные работы (ЛР)	18		18
Практические/семинарские занятия (СЗ)	0		0
<i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i>	108		108
<i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i>	0		0
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>ак.ч.</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
	<b>зач.ед.</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
Раздел 1	Архитектура сетей доступа 5G NR. Модели компонентов сетей связи 5G NR и методология оценки базовых характеристик систем 5G NR.	1.1	Гетерогенность, требования к обслуживанию, основные услуги, стандартизация беспроводных сетей.	Изучение принципов построения гетерогенных сетей (HetNet) и механизмов интеграции различных стандартов радиодоступа в единую инфокоммуникационную среду. Анализ требований к качеству обслуживания (QoS) и надежности соединений в зависимости от типов передаваемого трафика. Обзор ключевых современных услуг беспроводной связи, включая широкополосный доступ и межмашинное взаимодействие. Рассмотрение роли международных организаций в стандартизации протоколов, обеспечивающих технологическую совместимость и глобальный роуминг абонентских устройств.	ЛК, ЛР
Раздел 2	Модели компонентов сетей связи 5G NR и методология оценки базовых характеристик систем 5G NR.	2.1	Двухмерные и трехмерные сценарии применения антенн.	Анализ пространственных моделей распространения радиоволн в условиях городской и внутриобъектовой застройки. Изучение двухмерных (2D) сценариев планирования покрытия, ориентированных на горизонтальное распределение сигнала, и переход к трехмерным (3D) моделям для проектирования сетей в многоэтажных зданиях и сложных рельефах. Рассмотрение принципов формирования диаграмм направленности антенных систем в азимутальной и угломестной плоскостях. Оценка влияния высоты подвеса антенн и углов наклона на спектральную эффективность, минимизацию межсотовой интерференции и оптимизацию зон обслуживания в современных стандартах мобильной связи.	ЛК, ЛР
		2.2	Модели компонентов: размещения пользователей, распространения сигнала, антенн, блокировки в двух и трехмерных сценариях.	Систематизация подходов к моделированию ключевых элементов современных беспроводных систем связи в условиях различной пространственной размерности. Рассмотрение стохастических и детерминированных моделей размещения пользователей для оценки плотности трафика и нагрузки на сеть. Изучение физических и эмпирических моделей распространения сигналов, учитывающих затухание, многолучевость и дифракцию в 2D и 3D пространствах. Математическое описание характеристик антенных систем, включая коэффициенты усиления и конфигурации активных	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				фазированных решеток. Анализ механизмов блокировки сигнала природными и техногенными препятствиями, а также расчет вероятности прерывания связи с учетом динамики подвижных объектов и геометрии окружающей среды.	
		2.3	Интерференция, функциональные преобразования случайных величин, прямое взаимодействие устройств.	Исследование механизмов возникновения и минимизации помеховых воздействий в радиоканалах при плотном расположении сетевых узлов. Применение аппарата функциональных преобразований случайных величин для математического описания стохастической природы интерференции, анализа распределения мощностей сигналов и расчета отношения сигнал/шум. Изучение технологических особенностей прямого взаимодействия устройств (Device-to-Device, D2D), позволяющего передавать данные в обход базовых станций. Анализ влияния самоорганизующихся сетей на общую пропускную способность, оценка задержек и разработка алгоритмов управления ресурсами для обеспечения электромагнитной совместимости при совместном использовании частотных диапазонов.	ЛК, ЛР
Раздел 3	Архитектура сетей доступа 5G NR.	3.1	Общая модель на основе случайных полей, статическая модель блокировки.	Формирование единого аналитического описания радиосреды с использованием аппарата случайных точечных полей для моделирования пространственного распределения передатчиков и приемников. Применение методов стохастической геометрии для вычисления характеристик покрытия и спектральной эффективности в условиях неопределенности топологии сети. Построение статических моделей блокировки, основанных на геометрических принципах перекрытия прямой видимости неподвижными объектами. Использование распределений вероятностей для учета размеров, плотности размещения и ориентации препятствий в пространстве, что позволяет формализовать влияние затенения на мощность принимаемого сигнала без необходимости проведения трудоемких натурных измерений.	ЛК, ЛР
		3.2	Вероятность экспозиции, вероятность экспозиции совместно с вероятностью блокировки.	Математический анализ условий, при которых мобильный узел оказывается в зоне действия конкретного лепестка диаграммы направленности фазированной антенной решетки. Определение вероятности экспозиции как функции от ширины луча,	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				алгоритмов отслеживания пользователя и плотности распределения целевых объектов в пространстве. Разработка комплексной аналитической модели, связывающей геометрическую вероятность попадания в створ активного луча с вероятностью отсутствия физических препятствий на линии связи. Расчет итогового коэффициента доступности канала, учитывающего как динамическое изменение диаграммы направленности, так и стохастический характер появления блокирующих объектов, для оценки надежности передачи данных в миллиметровых диапазонах волн.	
		3.3	Формула Кэмпбелла для оценки интерференции.	теоретические основы стохастической геометрии в анализе беспроводных сетей. Определение кумулятивной интерференции как суммы сигналов от совокупности мешающих узлов, распределенных согласно пуассоновскому точечному процессу (PPP). Прикладное значение формулы при проектировании гетерогенных сетей связи. Использование рассчитанных моментов для аппроксимации распределения интерференции и оценки вероятностных характеристик качества обслуживания (QoS), таких как вероятность прерывания связи (outage probability) и средняя спектральная эффективность канала. Анализ влияния параметров среды (показателя затухания) и топологии сети на системную производительность.	ЛК, ЛР
		3.4	Анализ интерференции для разных типов антенн, формула Шеннона, спектральная эффективность.	Методика учета диаграмм направленности антенн в моделях суммарной интерференции. Оценка влияния коэффициента усиления и секторизации антенн на снижение уровня помех. Применение формулы Кэмпбелла для направленных и всенаправленных антенн путем модификации функции распространения сигнала с учетом угловых параметров. Применение фундаментальной формулы Шеннона для определения предельной пропускной способности канала в условиях помех. Анализ удельной спектральной эффективности. Исследование зависимости пропускной способности от отношения сигнал/интерференция-плюс-шум (SINR). Расчет средней спектральной эффективности сети при различной плотности базовых станций и конфигурации	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы	Содержание темы	Вид учебной работы*
			антенных систем.	

\* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: *ЛК* – лекции; *ЛР* – лабораторные работы; *СЗ* – практические/семинарские занятия.

## 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 или аналог.
Компьютерный класс	Компьютерный класс для проведения занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная персональными компьютерами (в количестве 20 шт.), доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	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 или аналог. Дополнительное ПО: OBS Studio.
Для самостоятельной работы	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. Дополнительное ПО: OBS Studio.

\* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Молчанов Д.А., Бегишев В. О., Самуйлов К. Е., Кучерявый Е. А. Сети 5G/6G: архитектура, технологии, методы анализа и расчета: монография /. – Москва: РУДН, 2022. – 516 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., Бегишев В.О. Сопин Э.С. Имитационное моделирование сетей и систем телекоммуникаций: учебное пособие /. – М.: РУДН, 2024. – 110 с.: ил.
4. Сопин Э.С., Самуйлов К.Е. Ресурсные системы массового обслуживания и их применения к анализу беспроводных сетей: монография /. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2026. – 160 с.
5. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Левин, Б. Р. – Советское радио, 1976.
6. Бочаров, П.П. Теория вероятностей. Математическая статистика / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. – 2-е изд. – Москва : Физматлит, 2005. – 296 с.

*Дополнительная литература:*

1. Moltchanov, D., Sopin, E., Begishev, V., Samuylov, A., Koucheryavy, Y., & Samouylov, K. A Tutorial on Mathematical Modeling of 5G/6G Millimeter Wave and Terahertz Cellular Systems //IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2022. – Т. 24. – №. 2. – С. 1072 - 1116. (Квартиль Q1 TOP-1% по Scopus, SJR по Scopus 14.184).  
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9726709>

2. Sopin, E., Daraseliya, A., Begishev, V., Samouylov, K., Koucheryavy, Y. Improving fairness and utilization in 5G/6G mmWave/sub-THz systems via virtual queuing //Computer Networks. – 2025. – С. 111317.

*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

<https://mega.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 «Знаниум» <https://znanium.ru/>

2. Базы данных и поисковые системы

- Sage <https://journals.sagepub.com/>

- Springer Nature Link <https://link.springer.com/>

- Wiley Journal Database <https://onlinelibrary.wiley.com/>

- Научометрическая база данных Lens.org <https://www.lens.org>

*Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля\*:*

1. Курс лекций по дисциплине «Моделирование беспроводных сетей».

2. Задания для практических работ.

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

**РАЗРАБОТЧИК:**

Доцент кафедры теории  
вероятностей и  
кибербезопасности

---

*Должность, БУП*

---

*Подпись*

Бегишев Вячеслав  
Олегович

---

*Фамилия И.О.*

**РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:**

Заведующий кафедрой теории  
вероятностей и  
кибербезопасности

---

*Должность БУП*

---

*Подпись*

Самуйлов Константин  
Евгеньевич

---

*Фамилия И.О.*

**РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:**

Заведующий кафедрой теории  
вероятностей и  
кибербезопасности

---

*Должность, БУП*

---

*Подпись*

Самуйлов Константин  
Евгеньевич

---

*Фамилия И.О.*