

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ястребов Олег Александрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 26.05.2026 11:56:08
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:

01.04.02 ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

(код и наименование направления подготовки/специальности)

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

ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

2026 г.

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Моделирование беспроводных сетей» входит в программу магистратуры «Теория вероятностей и математическая статистика» по направлению 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» 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;
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 Использует цифровые технологии и методы поиска, обработки, анализа, хранения и представления информации в области своей профессиональной деятельности; УК-7.2 Проводит оценку информации, ее достоверность, строит логические умозаключения на основании поступающих информации и данных;
ОПК-1	Способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики	ОПК-1.1 Обладает фундаментальными знаниями, полученными в области математических и (или) естественных наук; ОПК-1.2 Применяет фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, в профессиональной деятельности; ОПК-1.3 Определяет методы решения задач профессиональной деятельности на основе теоретических знаний;

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
ОПК-2	Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	ОПК-2.1 Модифицирует и разрабатывает математические методы решения прикладных задач;
ОПК-3	Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Модифицирует и (или) разрабатывает, анализирует и реализовывает математические модели в области профессиональной деятельности;
ОПК-4	Способен комбинировать и адаптировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности	ОПК-4.1 Определяет информационно-коммуникационные технологии, необходимые для решения задач в области профессиональной деятельности; ОПК-4.2 Оценивает риски и угрозы при использовании информационно-коммуникационных технологий, определяет способы и инструменты защиты данных при решении задач в области профессиональной деятельности;
ПК-1	Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	ПК-1.3 Умеет применять полученные знания в области прикладной 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;

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-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		Практикум по машинному обучению; Прикладные стохастические модели; Показатели эффективности беспроводных сетей последующих поколений; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями; Эконометрическое моделирование; Компьютерный анализ временных рядов; Нотации моделирования и

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
	достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных		методы анализа бизнес-процессов; Методы машинного обучения; Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Преддипломная практика; Научно-исследовательская работа;
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий		Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Преддипломная практика; Научно-исследовательская работа; Практикум по машинному обучению; Построение и анализ моделей беспроводных сетей последующих поколений; Прикладные стохастические модели; Модели ресурсных систем массового обслуживания; Показатели эффективности беспроводных сетей последующих поколений; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями; Эконометрическое моделирование; Компьютерный анализ временных рядов; Нотации моделирования и методы анализа бизнес-процессов; Методы стохастического анализа телекоммуникаций;
ОПК-1	Способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики		Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Научно-исследовательская работа; Прикладные задачи математического моделирования; Пакеты символьных вычислений; Нотации моделирования и методы анализа бизнес-процессов;

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
			Высокопроизводительные вычисления; Методы стохастического анализа телекоммуникаций; Криптографические методы защиты информации;
ОПК-2	Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач		Прикладные задачи математического моделирования; Методы машинного обучения; Высокопроизводительные вычисления; Методы стохастического анализа телекоммуникаций; Пакеты символьных вычислений; Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Научно-исследовательская работа;
ОПК-3	Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности		Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Научно-исследовательская работа; Прикладные задачи математического моделирования; Методы машинного обучения; Высокопроизводительные вычисления; Методы стохастического анализа телекоммуникаций;
ОПК-4	Способен комбинировать и адаптировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности		Методы машинного обучения; Криптографические методы защиты информации; Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Научно-исследовательская работа;
ПК-1	Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований		Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Преддипломная практика; Научно-исследовательская работа;

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
			Прикладные задачи математического моделирования; Computer Skills for Scientific Writing; Показатели эффективности беспроводных сетей последующих поколений; Построение и анализ моделей беспроводных сетей последующих поколений; Практикум по машинному обучению; Прикладные стохастические модели; Модели ресурсных систем массового обслуживания; Карта бизнес-процессов и информационная модель управления телекоммуникациями; Эконометрическое моделирование; Компьютерный анализ временных рядов; Нотации моделирования и методы анализа бизнес-процессов;

* - 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)	0		0
Практические/семинарские занятия (СЗ)	18		18
<i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i>	108		108
<i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i>	0		0
Общая трудоемкость дисциплины	ак.ч.	144	144
	зач.ед.	4	4

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, СЗ
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, СЗ
		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, СЗ

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, СЗ
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, СЗ
		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, СЗ

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, СЗ
		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, СЗ

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, Яндекс Телемос или аналог.
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.	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

- 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».

* - 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:

Профессор кафедры
математического
моделирования и
искусственного интеллекта

Должность, БУП

Подпись

Севастьянов Леонид
Антонович

Фамилия И.О.