

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:

ca953a01204891083f939673078ef1a989dae18a

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

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ

(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 «Показатели эффективности беспроводных сетей последующих поколений» входит в программу магистратуры «Теория вероятностей и математическая статистика» по направлению 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» и изучается в 3 семестре 2 курса. Дисциплину реализует Кафедра теории вероятностей и кибербезопасности. Дисциплина состоит из 3 разделов и 19 тем и направлена на изучение передовых технологий беспроводных сетей, сфокусированных на эволюции сетей связи в направлении 5G и 6G

Целью освоения дисциплины является ознакомить слушателей с текущим состоянием сетей беспроводных сотовых сетей связи и механизмов организации связи в беспроводных сетях 5G/6G; сформировать навыки и подходы в области построения математических моделей и методов анализа и оптимизации сетей 5G/6G; обучить слушателей методам построения и анализа вероятностных характеристик функционирования систем беспроводных сетей связи 5G/6G

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Показатели эффективности беспроводных сетей последующих поколений» 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;
ПК-1	Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	ПК-1.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области прикладной математики и информационных технологий; владеет знанием основ философии и методологии науки; владеет методами научных исследований, умеет

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
		<p>применять их на практике.;</p> <p>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;</p> <p>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;</p>

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Показатели эффективности беспроводных сетей последующих поколений» относится к блоку по выбору блока образовательной программы высшего образования.

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

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 достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных	<p>Прикладные стохастические модели;</p> <p>Эконометрическое моделирование;</p> <p>Нотации моделирования и методы анализа бизнес-процессов;</p> <p>Теория случайных процессов;</p> <p>Математическая теория телетрафика;</p> <p>Методы машинного обучения;</p> <p>Статистический анализ данных;</p> <p>Моделирование беспроводных сетей;</p> <p>Методология проектной и научной деятельности;</p> <p>Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы);</p>	Преддипломная практика;
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать	<p>Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы);</p> <p>Построение и анализ моделей</p>	Преддипломная практика;

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
	стратегию действий	беспроводных сетей последующих поколений; Прикладные стохастические модели; Модели ресурсных систем массового обслуживания; Эконометрическое моделирование; Нотации моделирования и методы анализа бизнес-процессов; Теория случайных процессов; Математическая теория телетрафика; Статистический анализ данных; Математические основы защиты информации и информационной безопасности; Методы стохастического анализа телекоммуникаций; Моделирование беспроводных сетей; Информационные базы данных;	
ПК-1	Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Построение и анализ моделей беспроводных сетей последующих поколений; Прикладные стохастические модели; Модели ресурсных систем массового обслуживания; Эконометрическое моделирование; Нотации моделирования и методы анализа бизнес-процессов; Теория случайных процессов; Математическая теория телетрафика; Моделирование беспроводных сетей;	Преддипломная практика;

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

** - элективные дисциплины /практики

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Показатели эффективности беспроводных сетей последующих поколений» 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)
			3
<i>Контактная работа, ак.ч.</i>	54		54
Лекции (ЛК)	18		18
Лабораторные работы (ЛР)	0		0
Практические/семинарские занятия (СЗ)	36		36
<i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i>	63		63
<i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i>	27		27
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	Особенности беспроводных сетей 5G+	1.1	Борьба с блокировками: резервация + мультисвязность	Тема «Борьба с блокировками: резервация + мультисвязность» объединяет методы избыточного выделения ресурсов и параллельной передачи данных для обеспечения сверхнадежной связи. Мультисвязность (multi-connectivity) позволяет пользовательскому устройству одновременно поддерживать активные соединения с несколькими базовыми станциями, работающими на разных частотах или в разных стандартах связи.	ЛК, СЗ
		1.2	Услуга mMTC для Интернета Вещей	Будет изучаться услуга mMTC как один из ключевых сценариев 5G для Интернета вещей: ее назначение, принципы работы и области применения. Также будут рассмотрены особенности подключения большого числа устройств, требования к низкому энергопотреблению, надежности связи, плотности соединений и расширенному покрытию. Отдельное внимание обычно уделяется тому, как mMTC поддерживает работу датчиков, счетчиков, контроллеров и других IoT-устройств, передающих небольшие объемы данных на большие расстояния и длительное время без замены батареи.	ЛК, СЗ
		1.3	Технология NB-IoT	В рамках темы Технология NB-IoT (Narrowband Internet of Things) будут изучаться технические особенности и преимущества данного стандарта сотовой связи, предназначенного для устройств с низким объемом передаваемых данных.	ЛК, СЗ
		1.4	Анализ разделения ресурсов между LTE и NB-IoT	Анализ разделения ресурсов между LTE и NB-IoT посвящен изучению механизмов сосуществования двух стандартов в рамках одной полосы пропускания и эффективному распределению частотно-временной сетки.	ЛК, СЗ
		1.5	Услуга URLLC	Услуга URLLC будет посвящена изучению технологии сверхнадежной связи с малой задержкой, которая используется для приложений, где особенно важны скорость реакции и высокая надежность передачи. В рамках темы рассматриваются требования к минимальной задержке, высокой доступности канала и устойчивости к	ЛК, СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				ошибкам, а также способы достижения этих параметров в сетях 5G. Изучаются механизмы сокращения времени передачи, приоритизации трафика, повторной передачи данных и повышения надежности связи.	
Раздел 2	Сети 5G на основе миллиметрового диапазона частот	2.1	Пространственно-временная динамика трафика в 5G	В рамках темы рассматриваются особенности нагрузки в разных зонах сети, влияние плотности пользователей, типа услуг и сценариев использования на поведение трафика. Также будет изучаться, как трафик изменяется в течение суток, в местах массового скопления людей и при перемещении пользователей между сотами.	ЛК, СЗ
		2.2	Пространственно-временная динамика трафика в 5G: мобильные точки доступа	В рамках темы рассматривается, как перемещение пользователей и самих мобильных точек доступа влияет на распределение нагрузки по территории и во времени. Изучаются закономерности изменения объема трафика, количество подключенных устройств, пиковые нагрузки и особенности обслуживания пользователей в движении.	ЛК, СЗ
		2.3	Оптимизация положения мобильных точек доступа	В рамках темы рассматриваются факторы, влияющие на размещение точек доступа: плотность пользователей, уровень сигнала, зона покрытия, помехи и потребность в пропускной способности. Изучаются способы минимизации перегрузки сети, уменьшения потерь сигнала и улучшения доступа пользователей к связи.	ЛК, СЗ
		2.4	Коммуникационные мосты на основе БПЛА	В рамках темы рассматривается роль БПЛА как ретрансляторов сигнала, которые позволяют создавать устойчивые каналы связи в зонах отсутствия наземной инфраструктуры, при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций или на массовых мероприятиях. Изучаются технические аспекты организации таких воздушных мостов, включая вопросы поддержания стабильного соединения «земля-воздух-земля» и «воздух-воздух».	ЛК, СЗ
		2.5	Мультикастинг в NR	Тема «Мультикастинг в NR» посвящена изучению механизмов групповой передачи данных в сетях 5G New Radio для эффективной доставки контента множеству пользователей одновременно. Рассматриваются архитектура MBS (Multicast/Broadcast Services), методы оптимизации радиоресурсов, способы обеспечения надежности доставки и	ЛК, СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				сценарии использования, такие как общественная безопасность, потоковое видео и критические обновления ПО.	
		2.6	Моделирование гетерогенных сетей	Тема «Моделирование гетерогенных сетей» посвящена изучению принципов совместной работы различных типов базовых станций (макро-, микро-, пико- и фемтосот) в рамках одной системы связи. В процессе обучения рассматриваются методы математического и имитационного моделирования для анализа частотного планирования, управления интерференцией и бесшовного переключения пользователей между уровнями сети. Основное внимание уделяется способам повышения пропускной способности и качества покрытия в условиях высокой плотности абонентов.	ЛК, СЗ
Раздел 3	Сети 6G на основе терагерцового диапазона частот	3.1	Терагерцовые сети – возможности и ограничения	Изучение перспектив использования терагерцового диапазона частот (0,1–10 ТГц) для достижения сверхвысоких скоростей передачи данных и сверхмалых задержек в сетях 6G. Рассматриваются возможности огромной полосы пропускания и интеграции функций связи с зондированием пространства (sensing). Анализируются ключевые ограничения: сильное затухание сигнала в атмосфере, малый радиус действия, высокая чувствительность к препятствиям и сложность разработки аппаратных компонентов для работы на таких частотах.	ЛК, СЗ
		3.2	Терагерцовые сети – свойства распространения	Изучаются особенности распространения терагерцовых волн: сильное затухание, влияние атмосферы, поглощение молекулами, отражение и рассеяние от препятствий, а также зависимость качества связи от расстояния и условий среды.	ЛК, СЗ
		3.3	Терагерцовые сети – окна прозрачности	Изучаются частотные диапазоны терагерцового спектра, в которых сигнал испытывает минимальное поглощение в атмосфере и лучше распространяется на большие расстояния. Рассматриваются причины появления таких «окон» и их использование для построения терагерцовых линий связи.	ЛК, СЗ
		3.4	Терагерцовые сети – B2B	Изучается применение терагерцовых технологий в корпоративном секторе для создания сверхвысокоскоростных локальных систем связи. Основное внимание уделяется организации беспроводных каналов в центрах обработки данных (Data Centers), замене оптических линий связи внутри	ЛК, СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				офисов, промышленной автоматизации с минимальными задержками и обеспечению связи для систем машинного зрения и высокоточной робототехники.	
		3.5	Терагерцовые сети – сети на кристалле	Изучается перенос беспроводных терагерцовых технологий на уровень микросхем для организации сверхбыстрого обмена данными между ядрами и компонентами процессора. В центре внимания — миниатюризация антенн, снижение энергопотребления и замена традиционных проводных соединений внутри чипа беспроводными каналами с огромной пропускной способностью.	ЛК, СЗ
		3.6	Терагерцовые сети – приложения макро мира	Изучается использование терагерцовой связи в масштабах городской и сельской инфраструктуры: организация транзитных каналов (backhaul) для сетей 6G, создание зон сверхвысокоскоростного покрытия в местах массового скопления людей, высокоточная радиолокация и системы «умного города», требующие мгновенной передачи колоссальных объемов данных.	ЛК, СЗ
		3.7	Терагерцовые сети – микромобильность и поиск луча	Изучается, как терагерцовые сети быстро отслеживают движение устройства и автоматически находят нужный луч связи при его перемещении. Основной акцент — на точном наведении сигнала, непрерывном сопровождении абонента и сохранении стабильного соединения в условиях очень узких направленных каналов.	ЛК, СЗ
		3.8	Терагерцовые сети – безопасность	Изучаются методы защиты передачи данных в терагерцовом диапазоне, использующие физические свойства узких направленных лучей для предотвращения перехвата. Основное внимание уделяется защите от подслушивания на физическом уровне, обнаружению попыток блокировки сигнала и разработке протоколов аутентификации, учитывающих специфику распространения сверхвысокочастотных волн.	ЛК, СЗ

* - 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 ЯндексТелемост.
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 «Показатели эффективности беспроводных сетей последующих поколений».

* - 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.