

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Системы мобильной связи 5G

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Статистическая радиофизика

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.01 Системы мобильной связи 5G относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать методы критического анализа и оценки современных научных достижений в области своей профессиональной деятельности</p> <p>Уметь определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности</p> <p>Владеть навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Знать современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных</p> <p>Уметь систематизировать и анализировать данные большого объема</p>	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

		<p>Владеть навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников</p>		
<p>ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты</p>	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знать современное состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности</p> <p>Уметь анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики</p> <p>Владеть навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Знать современные подходы к моделированию различных явлений</p> <p>Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования</p> <p>Владеть навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знать основные принципы организации научного исследования</p> <p>Уметь</p>	<p>Собеседование</p>	<p>Зачёт: Контрольные вопросы</p>

		<p>анализировать процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах</p> <p>Владеть навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов</p> <p>ПК-2.4: Знать современные подходы к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности</p> <p>Уметь анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p> <p>Владеть навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи</p>		
<p>ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</p>	<p>ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу</p> <p>ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче</p>	<p>ПК-3.1: Знать основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации</p> <p>Уметь применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>Владеть</p>	Собеседование	<p>Зачёт: Контрольные вопросы</p>

	<p>конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности</p> <p>Радиофизика</p>	<p>навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций</p> <p>ПК-3.2:</p> <p>Знать основные способы представления и продвижения результатов НИР</p> <p>Уметь структурировать презентационный материал, выделять основные результаты деятельности для их представления и расставлять акценты</p> <p>Владеть навыками представления результатов НИР перед научным и академическим сообществом</p> <p>ПК-3.3:</p> <p>Знать основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР</p> <p>Уметь анализировать проектную документацию на выполнение НИР</p> <p>Владеть навыками составления части проектной документации для проведения НИР</p>		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	

<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
1. Обзор стандартов мобильной сотовой связи 3G–5G, разрабатываемых комитетом 3GPP	7	3		3	4
2. Архитектура систем связи 5G	7	3		3	4
3. Новые сценарии коммуникации: D2D, mmWave, M2M	7	3		3	4
4. Технологии радиодоступа 5G. TDD, FDD схемы	7	3		3	4
5. Методы измерения характеристик канала связи	8	4		4	4
6. Референсные сигналы для демодуляции OFDM и DFT-s-OFDM символов	8	4		4	4
7. Передача сигналов в системах 5G с многоэлементными антенными	8	4		4	4
8. Управление диаграммами направленности в восходящем и нисходящем каналах	9	4		4	5
9. Модели беспроводных каналов распространения 5G	10	4		4	6
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	32	0	33	39

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Обзор стандартов мобильной сотовой связи 3G–5G, разрабатываемых комитетом 3GPP
2. Архитектура систем связи 5G
3. Новые сценарии коммуникации: D2D, mmWave, M2M
4. Технологии радиодоступа 5G. TDD, FDD схемы.
5. Методы измерения характеристик канала связи

6. Референсные сигналы для демодуляции OFDM и DFT-s-OFDM символов
7. Передача сигналов в системах 5G с многоэлементными антеннами
8. Управление диаграммами направленности в восходящем и нисходящем каналах
9. Модели беспроводных каналов распространения 5G

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа осуществляется в следующих формах.

- Во время лекций формулируются проблемы, которые студенты должны решить самостоятельно. На последующих лекциях проводится открытое обсуждение полученных результатов и даётся правильное решение.
- Контрольные вопросы и задания для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины выдаются студентам заранее. В случае необходимости проводятся индивидуальные консультации.

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

**5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

1. Принципы разработки стандартов систем связи Международным Союзом Электросвязи (ITU)
2. Новые сценарии развертывания систем мобильной сотовой связи 5G.

**5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1. Референсные сигналы для измерения характеристик восходящего канала связи
2. Информация о состоянии канала (CSI), передаваемая с пользовательского оборудования на базовую станцию
3. Методы пространственного прекодинга при передаче данных в восходящем канале связи

**5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:**

1. Передача данных в восходящем канале без использования кодовой книги
2. Процедура выбора лучей антенн в восходящем канале связи

### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

#### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

						полном объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Эволюция систем сотовой связи от 2G до 5G. Роль ITU в разработке новых систем мобильной связи IMT. IMT (International Mobile Telecommunications) системы начиная с 3G
2. 5G NR и новые сценарии для IMT-2020
3. Требования ITU-R к системам мобильной связи IMT-2020
4. Спектр предусмотренный ITU-R для 5G NR. Общий подход к распределению различных частотных диапазонов и использованию дуплексных схем FDD и TDD в 5G NR

5. Особенности миллиметрового диапазона длин волн
6. Особенности систем связи миллиметрового диапазона длин волн
7. Полосы частот выделенные ITU-R для систем связи 5G в диапазонах ниже 1 ГГц, от 1 ГГц до 5 ГГц и в диапазоне выше 24 ГГц.

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Новые технологии физического уровня (PHY layer) используемые в системах связи 5G NR
2. Масштабируемая нумерология в системах связи 5G NR. Причины введения такой нумерологии.
3. TD структура фреймов в 5G NR, сравнение с LTE-A
4. FD структура фреймов в 5G NR, сравнение с LTE-A
5. Методы поддержки малого запаздывания в передаче информации (Low Latency Support) в 5G NR
6. Дуплексные схемы в 5G NR (FDD и TDD). Использование динамического TDD в FR2
7. Принципы координированной передачи данных (CoMP) в LTE-A и 5G NR

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Процедура первоначального доступа в сеть 5G NR (Initial Access). Общая структура SS/PBCH блоков. Структура и назначение PSS и SSS последовательностей. Сравнение с LTE-A стандартом.
2. Нумерология SS/PBCH блоков для различных диапазонов FR1 и FR2 (занимаемая полоса и длительность)
3. Периодичность SS/PBCH блоков, использование «пачек» SS/PBCH блоков для поиска оптимального направления главного луча антенной системы в различных частотных диапазонах
4. Физический широковещательный канал PBCH (the Physical Broadcast Channel). Информация содеожаящаяся в PBCH блоке.
5. Процедура случайного доступа (Random Access) необходимость использования этой процедуры.
6. Физический канал случайного доступа (PRACH). Слоты выделяемые базовой станцией для канала случайного доступа (RACH slots), их периодичность.
7. Последовательности используемые в физическом канале случайного доступа (PRACH preambles). Длинные и короткие преамбулы диапазоны частот FR1 и FR2, в которых они используются.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	компетенций не сформирована на уровне «плохо»

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Берлин Александр Наумович. Сотовые системы связи : учеб. пособие. - М. : Интернет-Университет Информационных Технологий : Бином. Лаборатория знаний, 2009. - 360 с. : ил., табл. - (Основы информационных технологий). - ISBN 978-5-9963-0104-1 : 332.64., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Технологии электронных коммуникаций. Т. 48. Сотовые системы подвижной радиосвязи / авт. т. Ю. А. Громаков. - М. : Россия, 1994. - 100 с. - 7410.00., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

5G: как работает технология и зачем нам это нужно [Электронный ресурс] - URL: <https://rb.ru/longread/what-is-5G/>

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: доска, проектор.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиоп физика.

Автор(ы): Мальцев Александр Александрович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Мальцев Александр Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 9/23.