

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Национальный исследовательский**  
**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

УТВЕРЖДЕНО

решением ученого совета ННГУ

протокол от "30"ноября 2022 г.

№13

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Системы мобильной связи 4 и 5 поколения:**  
**WiFi и LTE и 5G NR»**

Уровень высшего образования

**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и наноэлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакоммуникации и журналистика

Нижний Новгород

2023 год

### 1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «Современные системы мобильной связи 4 и 5 поколения: Wi-Fi и LTE и 5G NR» относится к числу *факультативных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 3-ом году обучения в 5 семестре.

**Цель дисциплины** – углубленное ознакомление аспирантов с современными системами связи с ортогональным частотным мультиплексированием и разбор физического уровня последних релизов стандартов LTE и Wi-Fi.

### 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

**Знать:**

- основные принципы генерации и обработки сигналов в OFDM и OFDMA системах связи;
- основные принципы передачи и обработки сигналах в MIMO системах связи;
- основные принципы организации передачи сигналов в системах беспроводного доступа в Интернет Wi-Fi (IEEE 802.11).

**Уметь:**

- рассчитывать теоретическую пропускную способность на физическом уровне систем сотовой связи LTE и беспроводного доступа в Интернет Wi-Fi.

**Владеть:**

- Владеть методами расчета бюджета линии связи LTE и Wi-Fi.

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Таблица 1**

**Структура дисциплины**

| Наименование раздела дисциплины  | Всего, часов | В том числе              |                           |                            |              |       | Самостоятельная работа обучающегося, часов |
|--|--------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|-------|--|
|  |              | Контактная работа, часов |                           |                            |              |       |  |
|  |              | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | Консультации | Всего |  |
| 1. Введение  | 4            | 2                        | -                         | -                          | -            | 2     | 2  |
| Часть 1. Системы связи с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM-системы связи) |              |                          |                           |                            |              |       |  |
| 2. Обработка сигналов в OFDM-системах связи  | 4            | 2                        | -                         | -                          | -            | 2     | 2  |
| 3. Основные характеристики OFDM-системы связи  | 4            | 2                        | -                         | -                          | -            | 2     | 2  |
| 4. Методы оценки передаточной функции канала   | 4            | 2                        | -                         | -                          | -            | 2     | 2  |
| 5. Методы частотной и временной  | 4            | 2                        | -                         | -                          | -            | 2     | 2  |

|  |    |    |  |  |  |    |    |
|--|----|----|--|--|--|----|----|
| синхронизации  |    |    |  |  |  |    |    |
| <b>Часть 2. Физический уровень стандарта LTE Rel-8/9</b>   |    |    |  |  |  |    |    |
| 6. Технология множественного доступа OFDMA   | 4  | 2  |  |  |  | 2  | 2  |
| 7. Технология множественного доступа SC-FDMA   | 4  | 2  |  |  |  | 2  | 2  |
| 8. Основные схемы пространственной обработки при использовании технологии MIMO   | 4  | 2  |  |  |  | 2  | 2  |
| 9. Синхронизация и поиск соты в LTE  | 4  | 2  |  |  |  | 2  | 2  |
| 10. Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале   | 4  | 2  |  |  |  | 2  | 2  |
| 11. Отличительные особенности и основные процедуры обработки сигналов, передаваемых от абонентов на базовые станции  | 4  | 2  |  |  |  | 2  | 2  |
| 12. Основные особенности компьютерного моделирования работы передатчика и приёмника на физическом уровне системы связи LTE                                 | 4  | 2  |  |  |  | 2  | 2  |
| <b>Часть 3. Физический уровень стандарта Wi-Fi IEEE802.11a/g</b>   |    |    |  |  |  |    |    |
| 13. Архитектура беспроводных локальных сетей Wi-Fi   | 6  | 3  |  |  |  | 3  | 3  |
| 14. Обзор уровня контроля доступа к среде  | 6  | 3  |  |  |  | 3  | 3  |
| 15. Обзор физического уровня стандарта IEEE802.11a/g   | 6  | 3  |  |  |  | 3  | 3  |
| 16. Основные особенности компьютерного моделирования процедур обработки сигналов на приёмнике и передатчике беспроводной системы связи Wi-Fi IEEE802.11a/g | 6  | 3  |  |  |  | 3  | 3  |
| Аттестация по дисциплине – зачет   |    |    |  |  |  |    |    |
| Итого  | 72 | 36 |  |  |  | 36 | 36 |

**Таблица 2**

**Содержание дисциплины**

| № п/п   | Наименование раздела дисциплины          | Содержание раздела  | Форма проведения занятия | Форма текущего контроля* |
|---|--|---|--------------------------|--------------------------|
| 1   | Введение                                 | Историческая справка. Понятия многолучевого распространения сигналов и межсимвольной интерференции.   | Лекции                   | -                        |
| <b>Часть 1. Системы связи с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM-системы связи)</b> |  |   |                          |                          |
| 2   | Обработка сигналов в OFDM-системах связи | OFDM модуляция. Модуляция и демодуляция OFDM сигнала с использованием быстрого преобразования Фурье. Использование циклического префикса для сохранения | Лекции                   | -                        |

|   |   |   |        |   |
|---|---|---|--------|---|
|   |   | ортогональности поднесущих OFDM сигнала в многолучевом канале   |        |   |
| 3   | Основные характеристики OFDM-системы связи  | Модель OFDM системы связи в частотной области. Выбор параметров OFDM системы.   | Лекции | - |
| 4   | Методы оценки передаточной функции канала   | Использование пилотных сигналов для оценки канальной матрицы. Метод наименьших квадратов и метод минимальной среднеквадратичной ошибки  | Лекции | - |
| 5   | Методы частотной и временной синхронизации  | Использование циклического префикса для временной синхронизации. Использование пилотных сигналов для временной и частотной синхронизации  | Лекции | - |
| Часть 2. Физический уровень стандарта LTE Rel-8/9 |   |   |        |   |
| 6   | Технология множественного доступа OFDMA   | Ортогональное частотное мультиплексирование пользователей OFDMA   | Лекции | - |
| 7   | Технология множественного доступа SC-FDMA   | Технология множественного доступа SC-FDMA, отличия SC-FDMA от OFDMA. Локализованное и распределённое отображение частотных выборок на поднесущие в SC-FDMA, преимущества и недостатки | Лекции | - |
| 8   | Основные схемы пространственной обработки при использовании технологии MIMO                                     | Пространственное разнесение. Схема Аламоути (SFBC). Пространственное мультиплексирование. Пространственное разделение пользователей   | Лекции | - |
| 9   | Синхронизация и поиск соты в LTE  | Основные этапы синхронизации базовой станции и абонентского устройства в системах LTE. Последовательности Задова-Чу   | Лекции | - |
| 10  | Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале  | Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PBCH, PCFICH, PHICH и PDCCH  | Лекции | - |
| 11  | Отличительные особенности и основные процедуры обработки сигналов, передаваемых от абонентов на базовые станции | Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PDSCH, режимы передачи PDSCH   | Лекции | - |

|   |  |  |        |   |
|---|--|--|--------|---|
| 12  | Основные особенности компьютерного моделирования работы передатчика и приёмника на физическом уровне системы связи LTE                                 | Процедура случайного доступа. Функциональное назначение и обработка сигналов в канале PRACH и PUCCH.   | Лекции | - |
| Часть 3. Физический уровень стандарта Wi-Fi IEEE802.11a/g |  |  |        |   |
| 13  | Архитектура беспроводных локальных сетей Wi-Fi   | Топология и основные узлы сети WLAN  | Лекции | - |
| 14  | Обзор уровня контроля доступа к среде  | Основные функции протокола MAC. Основной фрейм MAC уровня. Типы фреймов, их формат и назначение  | Лекции | - |
| 15  | Обзор физического уровня стандарта IEEE802.11a/g   | Назначение и основные параметры физического уровня. Временная и частотная структура фрейма. Временная структура преамбулы фрейма, субфреймов "SIGNAL" и "DATA". Математическое описание сигналов фрейма. Процедуры шифрования, сверточного кодирования и перемежения данных. Модуляции. Используемые диапазоны частот (channelization). Уровни мощности и спектр излучаемого сигнала (спектральная маска). | Лекции | - |
| 16  | Основные особенности компьютерного моделирования процедур обработки сигналов на приёмнике и передатчике беспроводной системы связи Wi-Fi IEEE802.11a/g | Требуемая вероятность фреймовых (пакетных) ошибок и необходимая чувствительность приемника. Влияние неидеальности частотной и временной синхронизации. Символьная синхронизация «вслепую» и на основе пилотных сигналов в OFDM системе   | Лекции | - |

#### 4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.
2. Собеседование с обучающимися во время аудиторных занятий.
3. Как оценочный способ контроля самостоятельной работы студентов и одновременно разновидность интерактивного обучения используется форма групповой консультации по отдельным разделам дисциплины в виде семинаров по современным проблемам радиофизики, проводимым на кафедре факультативно.

## 5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

### 5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

#### *Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета*

| Оценка            | Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой  |
|-------------------|--|
| <i>Зачтено</i>    | владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях. |
| <i>Не зачтено</i> | непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.  |

### 5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине

1. MAC уровень стандарта IEEE 802.11a. Независимые зоны обслуживания (ad-hoc сети). Зоны обслуживания с точкой доступа. Понятие скрытого узла. Понятие о механизме «множественного доступа с контролем несущей и предотвращением коллизий».
2. Физический уровень стандарта IEEE 802.11a. Основные параметры стандарта. Структура фрейма. Временная и частотная структура субфреймов “PREAMBLE”, “SIGNAL” и “DATA”. Модуляция данных.
3. Архитектура и функциональное назначение логических узлов опорной сети (Core Network) и сети радиодоступа (Radio Access Network).
4. Синхронизация и поиск соты в LTE.
5. Архитектура и функциональное назначение протоколов Layer 1, Layer 2, Layer 3. Процедура случайного доступа.

6. Технология множественного доступа OFDMA. Технология множественного доступа SC-FDMA, отличия SC-FDMA от OFDMA.
7. Отличительные особенности и основные процедуры обработки сигналов, передаваемых от абонентов на базовые станции в LTE Rel-8/9.
8. Локализованное и распределённое отображение частотных выборок на поднесущие в SC-FDMA, преимущества и недостатки.
9. Временные структуры кадра LTE.
10. Ресурсная сетка LTE, расстояние между поднесущими, длительность OFDM символа, частота дискретизации, поддерживаемые полосы частот.
11. Последовательности Задова-Чу.
12. Отличительные особенности и основные процедуры обработки сигналов, передаваемых от базовой станции абонентам в LTE Rel-8/9.
13. Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PUSCH.
14. Опорные (пилотные) сигналы, пример процедуры оценивания канала.
15. Пространственное мультиплексирование Closed-loop в LTE Rel-8/9.
16. Функциональное назначение и обработка сигналов в физических каналах PCFICH и PHICH.
17. Опорные сигналы, используемые при передаче от абонентов на базовые станции в LTE Rel-8/9.
18. Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PDCCH.
19. Функциональное назначение и обработка сигналов в канале PRACH.
20. Функциональное назначение и обработка сигналов в физическом канале PDSCH, режимы передачи PDSCH.
21. Разнесённая передача сигналов от базовой станции абонентам в LTE Rel-8/9.
22. Пространственное мультиплексирование Open-loop в LTE Rel-8/9.
23. Функциональное назначение и обработка сигналов в канале PUSCH.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Прокис Д. Цифровая связь. Пер. с англ. – М: Радио и связь, 2000. 800 с.
2. Ермолаев В.Т., Флакман А.Г. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи. Монография. – Нижний Новгород: ННГУ, 2011. – 368 с.
3. В.Т. Ермолаев, А.А. Мальцев, А.Г. Флакман, О.В. Болховская, А.В. Ключев. Мобильная связь: вопросы теории и типовые задачи. Учебное пособие. / Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2014. 234 с.

б) дополнительная литература:

1. Феер К. - Беспроводная цифровая связь: Методы модуляции и расширения спектра. - М.: Радио и связь, 2000. - 520 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

<http://e.lanbook.com/>;

<http://www.biblioclub.ru>.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
- лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
- обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы\_\_\_\_\_Г.В. Морозов

Рецензент(ы)\_\_\_\_\_И.Ю. Грязнова

Заведующий кафедрой\_\_\_\_\_А.А.Мальцев

**Программа одобрена** на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от «20» января 2022 года, протокол № 01/22.