

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 Ученого совета ННГУ  
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Теория электрической связи

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

---

Направленность образовательной программы  
Информационные системы и технологии

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.14 Теория электрической связи 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<br>(код, содержание компетенции)   | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции   |  | Наименование оценочного средства              |   |
|--|---|--|---|---|
|  | Индикатор достижения компетенции<br>(код, содержание индикатора)  | Результаты обучения по дисциплине  | Для текущего контроля успеваемости            | Для промежуточной аттестации                        |
| <p>ПК-2: Способен к применению общенаучных базовых знаний математических и естественных наук, фундаментальной информатики и информационных технологий; применять в профессиональной деятельности современные языки программирования и методы параллельной обработки данных, операционные системы, электронные библиотеки и пакеты программ, сетевые технологии</p> | <p>ПК-2.1: Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, имеет научные знания в теории информационных систем</p> <p>ПК-2.2: Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности.</p> <p>ПК-2.3: Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий</p> | <p>ПК-2.1:<br/>Знает основы теории электрической связи, радиотехнических сигналов, распространения радиоволн, цифровой обработки сигналов, информации и кодирования, необходимые для реализации алгоритмов обработки сигналов и позволяющие разрабатывать беспроводные системы подвижной связи и средства их защиты</p> <p>ПК-2.2:<br/>Умеет использовать основы теории электрической связи, радиотехнических сигналов, распространения радиоволн, цифровой обработки сигналов, информации и кодирования, необходимые для реализации алгоритмов обработки сигналов и позволяющие разрабатывать беспроводные системы подвижной связи и средства их защиты</p> <p>ПК-2.3:<br/>Владеет методами расчета электрических цепей</p> | <p>Собеседование<br/>Практическое задание</p> | <p>Экзамен:<br/>Контрольные вопросы<br/>Задания</p> |

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

|  |                      |
|--|----------------------|
|  | <b>очная</b>         |
| <b>Общая трудоемкость, з.е.</b>  | <b>8</b>             |
| <b>Часов по учебному плану</b>   | <b>288</b>           |
| в том числе  |                      |
| <b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>                           |                      |
| - занятия лекционного типа   | <b>64</b>            |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | <b>64</b>            |
| - КСР  | <b>4</b>             |
| <b>самостоятельная работа</b>  | <b>66</b>            |
| <b>Промежуточная аттестация</b>  | <b>90</b><br>Экзамен |

#### 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       |   |
| о<br>ф<br>о   | о<br>ф<br>о  | о<br>ф<br>о  | о<br>ф<br>о  | о<br>ф<br>о |   |
| Раздел 1. Сигналы и их спектры  | 31           | 10   | 10   | 20          | 11  |
| Раздел 2. Статистические свойства пространственных каналов связи  | 31           | 10   | 10   | 20          | 11  |
| Раздел 3. Методы оценки пространственных каналов связи  | 33           | 11   | 11   | 22          | 11  |
| Раздел 4. Кодирование/ декодирование, модуляция/ демодуляция сигналов в системах связи  | 33           | 11   | 11   | 22          | 11  |
| Раздел 5. Передача и прием информации в системах связи с кодовым разделением пользователей и с ортогональным частотным мультиплексированием | 33           | 11   | 11   | 22          | 11  |
| Раздел 6. Методы обработки сигналов в системах связи с разнесенным приемом и/или разнесенной передачей                                      | 33           | 11   | 11   | 22          | 11  |
| Аттестация  | 90           |  |  |             |   |
| КСР   | 4            |  |  | 4           |   |
| <b>Итого</b>  | <b>288</b>   | <b>64</b>  | <b>64</b>  | <b>132</b>  | <b>66</b>                                 |

#### Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1.

Сигналы и их спектры

Раздел 2.

Статистические свойства пространственных каналов связи

Раздел 3.

Методы оценки пространственных каналов связи

Раздел 4.

Кодирование/ декодирование, модуляция/ демодуляция сигналов в системах связи

Раздел 5.

Передача и прием информации в системах связи с кодовым разделением пользователей и с ортогональным частотным мультиплексированием

Раздел 6.

Методы обработки сигналов в системах связи с разнесенным приемом и/или разнесенной передачей

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 - 8 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.

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, компьютерных классах с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных занятий и в конце курса при проведении экзамена по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

– во время лекций формулируются проблемы, которые студенты должны решить самостоятельно. На последующих лекциях проводится открытое обсуждение полученных результатов и даётся правильное решение.

– 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-2:**

1. Три способа представления узкополосного сигнала. Принцип работы модулятора и демодулятора.
2. Плоский канал связи. Частотно-селективный канал связи.
3. Импульсная характеристика и передаточная функция многолучевого канала связи.
4. Временная, частотная и угловая дисперсии в многолучевом канале связи.
5. Принципы построения сотовых систем связи. Повторное использование частот. Процедура передачи пользователя от одной базовой станции к другой.
6. Критерии максимума апостериорной вероятности и максимального правдоподобия при детектировании сигналов.
7. Основные методы разделения пользователей.
8. Формирование и прием OFDM-сигнала. Пропускная способность OFDM-системы.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

| Оценка              | Критерии оценивания  |
|---------------------|--|
| превосходно         | 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 |
| отлично             | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».  |
| очень хорошо        | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»  |
| хорошо              | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».   |
| удовлетворительно   | 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»                                     |
| неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».   |
| плохо               | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»  |

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

## Тематика лабораторных работ:

| №п/п | Наименование лабораторных работ  |
|------|--|
| 1    | Статистические характеристики амплитуды и фазы узкополосного сигнала, проходящего через многолучевой канал связи |
| 2    | Корреляционные и спектральные характеристики узкополосного сигнала, проходящего через многолучевой канал связи   |
| 3    | Вероятность битовой ошибки в каналах с различными статистическими свойствами                                     |
| 4    | Основные характеристики систем связи с разнесенным приемом   |

### Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

| Оценка     | Критерии оценивания   |
|------------|---|
| зачтено    | Уровень знаний соответствует программе подготовки.  |
| не зачтено | Уровень знаний ниже допустимого минимума. Студент не отвечает на вопросы или допускает грубые ошибки. |

## 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 и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <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 некоторыми и недочетами                                    | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми 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-2

1. Спектральная плотность амплитуды и спектр энергии действительного сигнала. Их основные свойства
2. Канальная модель Кларка и спектр Джейкса
3. Передача сигнала в свободном пространстве. Связь мощностей принятого и передаваемого сигналов. Дальность радиосвязи в свободном пространстве
4. Отражение сигнала от земной поверхности и двулучевое распространение. Зависимость мощности принятого сигнала от расстояния. Дальность радиосвязи с учетом сигнала, отраженного от земли
5. Случайные узкополосные сигналы. Релеевское и райсовское распределение амплитуды
6. Функция взаимной корреляции двух гармонических сигналов с одинаковыми частотами. Функция взаимной корреляции двух гармонических сигналов с кратными частотами
7. Гармонический сигнал со случайной фазой. Найти одномерную функцию плотности распределения
8. Амплитудная модуляция, используемая в системах цифровой связи
9. Импульсная характеристика и передаточная функция многолучевого канала связи
10. Временная дисперсия в многолучевом канале связи, среднее значение и дисперсия задержки сигнала
11. Угловая дисперсия в многолучевом канале связи. Гауссова модель канала и ее сравнение с круговой моделью и моделью Кларка
12. Оценка импульсной характеристики однолучевого канала связи
13. Оценка длины импульсной характеристики многолучевого канала
14. Оценка частотной передаточной функции многолучевого канала связи в OFDM системе связи
15. Спектр дискретного сигнала. Частота Найквиста. Эффект наложения спектра при дискретизации
16. Восстановление сигнала по его временным выборкам. Теорема Котельникова
17. Модели каналов без памяти (двоичный симметричный канал, дискретный канал, канал с дискретным входом и непрерывным выходом). Спектральная эффективность этих каналов
18. Спектральная эффективность частотно ограниченного канала с аддитивным шумом и дискретным временем. Теорема Шеннона о кодировании в канале с шумами
19. Вероятность битовой и символьной ошибки в релеевском канале для сигналов фазовой и квадратурной амплитудной модуляций
20. Физический смысл канального кодирования. Сверточный кодер и его решетчатая диаграмма
21. Кодовое разделение пользователей в широкополосных системах с прямым расширением спектра. Кодовые псевдошумовые последовательности Уолша. RAKE приемник
22. Ортогональные многомерные сигналы с частотным сдвигом. Формирование OFDM-сигнала

23. Влияние ошибок частотной и временной синхронизации в OFDM-системе
24. Символьная и частотная синхронизация «вслепую» в OFDM-системе.  
Синхронизация на основе пилотных сигналов
25. Обработка сигналов при фазовой и ортогональной разнесенных передачах
26. Обработка сигналов при пространственно-временной (схема Аламоути) разнесенной передаче
27. Понятие коэффициента использования полосы. Два основных класса цифровых систем связи - системы с передачей ортогональных или неортогональных сигналов

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

| Оценка              | Критерии оценивания  |
|---------------------|--|
| превосходно         | 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 |
| отлично             | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».  |
| очень хорошо        | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»  |
| хорошо              | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».   |
| удовлетворительно   | 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»                                     |
| неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».   |
| плохо               | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»  |

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

#### **Задание 1.**

Задан энергетический спектр детерминированного сигнала. Можно ли однозначно определить сигнал?

#### **Задание 2.**

Даны два сигнала и их спектральные плотности амплитуд. Как найти спектр энергии суммы сигналов?

#### **Задание 3.**

Какими свойствами обладают спектральная плотность амплитуды и спектр энергии, если сигнал является действительной функцией времени?

**Задание 4.**

Ширина спектра случайного процесса равна 1 МГц. Чему приблизительно равно время корреляции этого процесса.

**Задание 5.**

Сигнал представлен в виде нечетной функции времени. Что можно сказать о спектральной плотности амплитуды? Чему равно значение спектра на нулевой частоте?

**Задание 6.**

Найти скорость передачи системы с кодовым разделением пользователей, если заданы: скорость кодирования, модуляция, длительность фрейма, число символов во фрейме и число последовательностей Уолша для разделения пользователей.

**Задание 7.**

Спектр узкополосного сигнала является равномерным в полосе от  $f_1$  до  $f_2$ . Чему равна минимальная частота дискретизации сигналов для их идеального восстановления

**Задание 8.**

Найти импульсную характеристику сверточного кодера с двумя векторами связи. Нарисовать данный кодер.

**Задание 9.**

Система связи использует адаптивную разнесенную передачу из двух антенн в одну приемную антенну. Найти весовые коэффициенты для первой и второй передающих антенн, если заданы канальные коэффициенты.

**Задание 10.**

Найти скорость передачи данных в OFDM-системе, если заданы: полоса частот, длительность защитного интервала, скорость кодирования, модуляция, число пилотных поднесущих.

**Задание 11.**

Необходимо уменьшить вероятность битовой ошибки с  $10^{-x}$  до  $10^{-y}$ , где  $x < y$ . На сколько дБ должна быть увеличена мощность передатчика в системе связи, использующей  $N$  приемных антенн с когерентным суммированием сигналов, если используются 2ФМ сигналы, среднее ОСШ  $\gamma \gg 1$ , а замирания сигналов в приемных антеннах являются релеевскими и некоррелированными.

**Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)**

| Оценка       | Критерии оценивания  |
|--------------|--|
| превосходно  | 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 |
| отлично      | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».  |
| очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»  |
| хорошо       | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена  |

| Оценка              | Критерии оценивания  |
|---------------------|--|
|                     | дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».   |
| удовлетворительно   | 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» |
| неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».   |
| плохо               | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»  |

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

Основная литература:

1. Прокис Джон Дж. Цифровая связь = Digital Communications : пер. с англ. под ред. Д. Д. Кловского. - М. : Радио и связь, 2000. - 800 с. : ил. - ISBN 5-256-01434-X, 007-051726 : 190.00., 3 экз.
2. Ермолаев Виктор Тимофеевич. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи : монография / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2011. - 368 с. - ISBN 978-5-91326-143-4 : 187.95., 68 экз.
3. Мобильная связь: вопросы теории и типовые задачи : учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальностям 090106 "Информ. безопасность телекоммуникац. систем" и 010400 "Информ. технологии" / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2014. - 234 с. - ISBN 978-5-91326-255-4 : 220.32., 50 экз.

Дополнительная литература:

1. Тихонов Василий Иванович. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем : [учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов]. - М. : Радио и связь, 1991. - 608 с. : ил. - ISBN 5-256-00789-0 : 2.50., 5 экз.

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

.

## **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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Флакман Александр Григорьевич, доктор физико-математических наук, профессор  
Аверин Илья Михайлович, кандидат технических наук.

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 28.11.2024, протокол № 06/24.