

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 от  
«31» мая 2023 № 6

## Рабочая программа дисциплины

**Теория электрической связи**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

**бакалавриат**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Специальность

**02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Информационные системы и технологии**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

**бакалавр**

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород  
2023

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Теория электрической связи» относится к обязательным дисциплинам вариативной части Б1.В основной образовательной программы по направлению подготовки 02.03.02 – Фундаментальная информатика и информационные технологии, и читается на 3 и 4 курсах (6 и 7 семестры) бакалавриата. Трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц.

### Целями освоения дисциплины являются:

- изучение основных принципов построения цифровых систем подвижной связи;
- изучение основных статистических характеристик пространственных многолучевых каналов связи;
- изучение основных методов формирования, приема и обработки сигналов в системах передачи информации;
- знакомство с основными показателями качества беспроводных систем связи.

В процессе изучения дисциплины студенты должны углубить знания по теоретическим основам формирования, приема и обработки сигналов, приобрести знания, необходимые для оценки основных показателей эффективности систем связи применительно к реальным окружающим условиям.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции, этап формирования)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-2 Способность 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.  Этап формирования <u>завершающий</u>	<i>31 (ПК-2) Знать основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями</i> <i>32 (ПК-2) Знать современный математический аппарат, фундаментальные концепции и системные методологии, международные и профессиональные стандарты в области информационных технологий для понимания основных принципов построения цифровых систем подвижной связи</i>  <i>У1 (ПК-2) Уметь использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями для разработки и применения методов обработки сигналов в системах передачи информации.</i> <i>У2 (ПК-2) Уметь понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат, фундаментальные концепции и системные методологии, международные и профессиональные стандарты в области информационных технологий для разработки и использования методов формирования, приема и обработки сигналов в системах передачи информации</i>

### 3. Структура и содержание дисциплины «Теория электрической связи»

Объем дисциплины составляет 8 зачетных единиц, всего 288 часов, из которых 136 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (64 часа занятия лекционного типа, 64 – лабораторные занятия, 4 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 66 часов – составляет самостоятельная работа обучающегося, 90 часов – промежуточная аттестация (экзамен).

#### Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  Форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	Очная	Очная	Очная	Очная	Очная	Очная
Раздел 1. Сигналы и их спектры	30	10	10		20	10
Раздел 2. Статистические свойства пространственных каналов связи	34	12	12		24	10
Раздел 3. Методы оценки пространственных каналов связи	30	10	10		20	10
Раздел 4. Кодирование/ декодирование, модуляция/ демодуляция сигналов в системах связи	36	12	12		24	12
Раздел 5. Передача и прием информации в системах связи с кодовым разделением пользователей и с ортогональным частотным мультиплексированием	32	10	10		20	12
Раздел 6. Методы обработки сигналов в	32	10	10		20	12

системах связи с разнесенным приемом и/или разнесенной передачей						
В т.ч. текущий контроль	4	4			4	
Промежуточная аттестация – экзамен – 90 час						

## Лабораторные занятия

№п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	1	Статистические характеристики амплитуды и фазы узкополосного сигнала, проходящего через многолучевой канал связи
2	2	Корреляционные и спектральные характеристики узкополосного сигнала, проходящего через многолучевой канал связи
3	4	Вероятность битовой ошибки в каналах с различными статистическими свойствами
4	6	Основные характеристики систем связи с разнесенным приемом

Порядок выполнения работ, задания и вопросы приведены в [4, 5]

### **4. Образовательные технологии**

Реализация компетентного подхода предусматривает использование в учебном процессе следующих форм проведения занятий.

При чтении лекций используется активная форма, заключающаяся в разборе конкретных ситуаций, возникающих при анализе рассматриваемых физических явлений (анализ корректности постановки задачи, выявление физического смысла полученного результата).

Основными видами образовательных технологий курса «Теория электрической связи» являются лекции с применением технологий интерактивного обучения (презентаций), лабораторные работы и самостоятельная работа студента.

Используются следующие **интерактивные формы** проведения занятий:

- предоставление студентам адресов необходимых Интернет–ресурсов;
- обмен со студентами адресами электронной почты для обеспечения оперативного взаимодействия;
- отправка студентам электронных писем, содержащих необходимые образовательные ресурсы (материалы к лекциям и лабораторным занятиям);
- предоставление студентам возможности обсуждения проблем, возникающих при освоении дисциплины, с использованием сети Интернет.

В рамках данного учебного курса предусмотрены встречи с представителями российских и зарубежных компаний Intel, Nokia и др. с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся, решения прикладных задач с помощью компьютерных симуляций, стимулирования внеаудиторной работы.

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

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), 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.

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

Задания для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины (см. Раздел 6.4) выдаются студентам заранее. В случае необходимости проводятся индивидуальные консультации.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

### 6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования:

**ПК-2:** Способность 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.

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<b>Знания</b> Знать 1. основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями 2. современный математический аппарат, фундаментальные концепции и системные методологии, международные и профессиональные стандарты в области информационных технологий для понимания основных принципов построения цифровых систем подвижной связи.	Отсутствие знаний основных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Наличие грубых ошибок в знании основных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями	Знание основных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями с рядом ошибок	Знание основных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями с рядом ошибок	Знание основных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями с незначительными погрешностями	Знание основных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями без ошибок и погрешностей	Знание основных и дополнительных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями без ошибок и погрешностей
<b>Умения</b> Уметь 1. использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные	Полное отсутствие умения использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики,	Наличие грубых ошибок в умении использовать базовые знания естественных наук, математики	Умение использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты,	Умение использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты,	Умение использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные	Умение использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные	Умение свободно использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики

факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями для разработки и применения методов обработки сигналов в системах передачи информации. 2. понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат, фундаментальные концепции и системные методологии, международные и профессиональные стандарты в области информационных технологий для разработки и использования методов формирования, приема и обработки сигналов в системах передачи информации	основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями для разработки и применения методов обработки сигналов в системах передачи информации. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	и информатик и, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями для разработки и применения методов обработки сигналов в системах передачи информации	концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями для разработки и применения методов обработки сигналов в системах передачи информации с рядом ошибок	концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями для разработки и применения методов обработки сигналов в системах передачи информации с незначительными ошибками	факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями для разработки и применения методов обработки сигналов в системах передачи информации с незначительными погрешностями	факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями для разработки и применения методов обработки сигналов в системах передачи информации	и, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с фундаментальной информатикой и информационными технологиями для разработки и применения методов обработки сигналов в системах передачи информации
Шкала оценок	0-20%	20-50%	50-70%	70-80%	80-90%	90-99%	100%

## 6.2. Описание шкал оценивания

Используется традиционная семибалльная шкала оценивания, утвержденная приказом ректора ННГУ от 10.10.2002 №229\_ОД.

№ пп	Оценка, её обозначение и соответствующий ей числовой балл	Определение (уровень подготовки, характеризуемый оценкой)	Средний % студентов, получивших указанную оценку
------	---	---	--

1	Превосходно (прев; 5,5)	Превосходная подготовка с очень незначительными погрешностями	10%
2	Отлично (отл; 5)	Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с некоторыми ошибками	25%
3	Очень хорошо (очхор; 4,5)	В целом хорошая подготовка с рядом заметных ошибок	30%
4	Хорошо (хор; 4)	Хорошая подготовка, но со значительными ошибками	25%
5	Удовлетворительно (уд; 3)	Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям	10%
6	Не удовлетворительно (неуд; 2)	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания	
7	Плохо (плох; 1)	Подготовка совершенно недостаточная	

### **6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций**

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- письменные и устные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- контрольные задания.

Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используется

- устное собеседование.

### **6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.**

Примеры контрольных вопросов для аттестации по итогам освоения дисциплины (ПК-2):

1. Канальная модель Кларка и спектр Джейкса.
2. Случайные узкополосные сигналы. Релеевское распределение амплитуды и замирания сигнала в многолучевом канале связи.
3. Плоский канал связи. Частотно-селективный канал связи.
4. Импульсная характеристика и передаточная функция многолучевого канала связи.
5. Оценка импульсной характеристики однолучевого канала связи.
6. Критерий максимума апостериорной вероятности и критерий максимального правдоподобия при детектировании сигналов. Оптимальный детектор для модуляции без памяти.
7. Вероятность битовой и символьной ошибки в релеевском канале для сигналов фазовой и квадратурной амплитудной модуляций.
8. Физический смысл канального кодирования. Сверточный кодер. Решетчатая диаграмма сверточного кодера.
9. Ортогональные многомерные сигналы с частотным сдвигом. Формирование OFDM-сигнала.
10. Обработка сигналов при пространственно-временной (схема Аламоути) разнесенной передаче.



Для оценки сформированности компетенций ПК-2 служат практические контрольные задания. Примеры типовых заданий:

1. Как следует определять асимптотическое поведение спектра энергии сигнала при больших частотах, если а) сигнал имеет скачки только первой производной; б) сигнал имеет и скачки первой и второй производных?
2. Каким образом преобразуется энергетический спектр сигнала при дифференцировании этого сигнала?
3. Ширина спектра случайного процесса равна 1 МГц. Чему приблизительно равно время корреляции этого процесса.
4. Найти скорость передачи данных в OFDM-системе, если заданы: полоса частот, длительность защитного интервала, скорость кодирования, модуляция, число пилотных поднесущих.
5. Система связи использует когерентное суммирование сигналов в двух приемных антеннах. Найти весовые коэффициенты для первой и второй приемных антенн, если заданы канальные коэффициенты.
6. Найти импульсную характеристику заданного сверточного кодера с заданными двумя векторами связи. Нарисовать данный кодер.

#### **6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.**

- Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД.
- Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

#### **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля) «Теория электрической связи»**

##### **а) основная литература:**

1. Прохис 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. (1)
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.
4. Ермолаев В.Т., Флакман А.Г., Болховская О.В., Лысяков Д.Н. Лабораторные работы по курсу «Теория электрической связи». Статистические характеристики узкополосных сигналов в многолучевых каналах связи. Практикум. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2010. – 31 с.
5. Ермолаев В.Т., Флакман А.Г., Болховская О.В., Лысяков Д.Н. Лабораторные работы по курсу «Теория электрической связи». Основные методы кодирования дискретных сообщений: Практикум. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2010. – 15 с.

**б) дополнительная литература:**

1. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. 1104 с.

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

- аудиторный фонд ННГУ,
- аудитория для работы с мультимедийным проектором.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению **02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии»** (бакалавриат)

Авторы \_\_\_\_\_ д.т.н., профессор Ермолаев В.Т.

\_\_\_\_\_ д.ф.-м.н., профессор Флакман А.Г.

Рецензент \_\_\_\_\_ доцент, к.ф.-м.н. Пархачев В.В.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н., профессор Мальцев А.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от 25 мая 2023 № 04/23.