

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
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол от
«30» ноября 2022 г. №13

Рабочая программа дисциплины

Теория помехоустойчивого кодирования
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
магистратура
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.04.03 Радиофизика
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность программы
Информационные процессы и системы
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
очная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород
2023 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.02 «Теория помехоустойчивого кодирования» относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 Радиофизика, формируемой участниками образовательных отношений.

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

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	
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности	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.	Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений в области своей профессиональной деятельности Уметь: определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности Владеть: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований	Собеседование
	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.	Знать: современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных Уметь: систематизировать и анализировать данные большого объема Владеть: навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников	Собеседование
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-	ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений	Знать: современное состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности Уметь: анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики	Собеседование

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	
конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты	и оценке полученных результатов.		
	ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.	Знать: современные подходы к моделированию различных явлений Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования Владеть: навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи	Собеседование
	ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР.	Знать: основные принципы организации научного исследования Уметь: анализировать процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах Владеть: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов	Собеседование
	ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.	Знать: современные подходы к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности Уметь: анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики Владеть: навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи	Собеседование
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	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.	Знать: основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации Уметь: применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях Владеть: навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций	Собеседование
	ПК-3.2. Представляет	Знать: основные способы представления и продвижения результатов НИР	Собеседование

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	
	результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.	Уметь: структурировать презентационный материал, выделять основные результаты деятельности для их представления и расставлять акценты Владеть: навыками представления результатов НИР перед научным и академическим сообществом	
	ПК-3.3. Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.	Знать: основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР Уметь: анализировать проектную документацию на выполнение НИР Владеть: навыками составления части проектной документации для проведения НИР	Собеседование

3. Структура и содержание дисциплины

3.1.Трудовоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудовоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	
самостоятельная работа	75
КСР	1
Промежуточная аттестация – зачет	-

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание 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	Занятия лабораторного типа	Всего	
		очная	очная	очная	очная	
Часть 1. Введение	9	3			3	6
Часть 2. Основные критерии, применяемые при декодировании принятой последовательности	10	3			3	7
Часть 3. Линейный блочные коды, их представление и основные свойства	10	3			3	7
Часть 4. Стандартное расположение и синдромное декодирование линейных блочных кодов	10	3			3	7
Часть 5. Циклические коды, их представление и основные свойства	10	3			3	7
Часть 6. Возможные подходы реализации схем кодирования и декодирования циклических кодов	10	3			3	7
Часть 7. Сверточные коды, их представление и свойства	10	3			3	7
Часть 8. Декодирования сверточных кодов с помощью алгоритма Витерби. Практические аспекты их применения в современных системах связи	10	3			3	7
Часть 9. Декодирование по критерию максимума апостериорной информации	14	4			4	10
Часть 10. Основные принципы построения и декодирования турбо кодов	14	4			4	10
Аттестация	0					
КСР	1				1	
Итого	108	32	0	0	33	75

Практические занятия (семинарские 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.

Практическая подготовка предусматривает: решение практических заданий и задач, организация семинаров по отдельным разделам дисциплины.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

- изучение, анализ научно-технической информации, обобщение отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;
- аналитическое и численное исследование физических явлений и процессов радиофизическими методами;

- разработка новых комплексов программ по численному моделированию объектов различной физической природы;
 - планирование и проведение экспериментов с применением современных методов и измерительной аппаратуры (акустической, радиоэлектронной, оптоэлектронной);
 - формулировка новых задач, возникающих в ходе научных исследований;
 - совершенствование известных и разработка новых методов исследований;
 - анализ получаемых результатов и, при необходимости, корректировка направлений исследований;
 - подготовка и оформление научных статей;
 - составление отчетов и докладов о научно-исследовательской работе;
 - участие в научных конференциях, в том числе международных
 - руководство научной работой обучающихся
- компетенций – ПК-1, ПК-2, ПК-3.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

Промежуточная аттестация по дисциплине - зачет.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	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.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. 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 недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми 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 оценки при промежуточной аттестации

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

5.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы Вопросы к зачету

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. Основные критерии декодирования помехоустойчивых кодов. Декодирование по критерию минимального расстояния для двоично-симметричного канала и двоичного канала с аддитивным белым гауссовским шумом.	ПК-2
2. Основные задачи теории помехоустойчивого канального кодирования.	ПК-1

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
Расстояние и вес Хэмминга. Статистическая модель системы связи. Классификация схем помехоустойчивого кодирования. Границы помехоустойчивости и их геометрическая интерпретация.	
3. Введение в алгебру. Построение поля GF(pm). Понятие векторного пространства.	ПК-2
4. Определение линейного блочного кода. Порождающая и проверочная матрицы. Процедура кодирования систематического кода. Соотношение между порождающей и проверочной матрицами. Процедуры выкалывания, расширения и выбрасывания для модификации линейных блочных кодов.	ПК-1
5. Свойства линейных блочных кодов. Минимальное расстояние линейного блочного кода. Связь минимального расстояния кода и количества исправляемых ошибок. Геометрическая интерпретация.	ПК-1
6. Синдромное декодирование линейных блочных кодов. Понятие синдрома. Стандартное расположение. Таблица синдромов.	ПК-1
7. Границы помехоустойчивости линейных блочных кодов. Границы Синглтона и Хэмминга.	ПК-2
8. Примеры построения линейных блочных кодов. Коды Хэмминга и их свойства. Минимальное расстояние кодов Хэмминга.	ПК-2
9. Определение циклического кода. Алгебраическая связь вектора и его циклического сдвига. Свойства циклических кодов. Порождающая матрица циклического кода. Систематические циклические коды.	ПК-2
10. Кодирование циклических кодов. Схемная реализация кодирования циклических кодов. Ускоренные методы кодирования циклических кодов. Практическое применение циклических кодов.	ПК-2
11. Декодирование циклических кодов. Вычисление синдрома циклических кодов. Теорема Меггита. Структурная схема декодер Меггита.	ПК-2
12. Определение кодов Рида-Соломона. Построение и схемная реализация процедуры кодирования.	ПК-2
13. Декодирование кодов Рида-Соломона. Декодер Питерсона-Горенштейна-Цилера.	ПК-2
14. Определение сверточного кода. Диаграмма состояний, решетчатая диаграмма, ребро, путь. Процедура кодирования. Завершение кодирования в нулевое состояние и сверточный код с циклической структурой. Простейшие примеры сверточного кодирования.	ПК-1
15. Декодирование сверточных кодов. Метрика ребра, частичного пути и пути. Алгоритм Витерби. Вычислительная сложность алгоритма Витерби. Пример декодирования Витерби для простейших сверточных кодов.	ПК-1
16. Практические особенности применения сверточных кодов в системах связи. Процедура блочного и сверточного интерливинга. Повышение скорости кодирования сверточных кодов с помощью процедуры выкалывания.	ПК-1
17. Декодирование сверточных кодов с мягкими решениями. Вычисление LLR для 16-QAM модуляции.	ПК-2
18. Турбо кодирование. Структурная схема процедуры кодирования, на примере параллельного соединения двух сверточных кодов. Декодирования по критерию максимума апостериорной информации. BCJR алгоритм декодирования.	ПК-2
19. Коды с малой плотностью проверки на четность. Методы построения и описания кодов с помощью двудольного графа. Регулярные коды. Построение кодов Галлагера и Мак-Кея. Декодирование кодов с малой плотностью проверки на четность.	ПК-2

5.2.2. Типовые вопросы для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Коды Хэмминга и их свойства.
2. Кодирование циклических кодов. Схемная реализация кодирования циклических кодов.
3. Определение кодов Рида-Соломона.
4. Декодирования по критерию максимума апостериорной информации.
5. Коды с малой плотностью проверки на четность.

5.2.3. Типовые вопросы для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Определение линейного блочного кода. Порождающая и проверочная матрицы. Процедура кодирования систематического кода..
2. Свойства линейных блочных кодов. Минимальное расстояние линейного блочного кода.
3. Синдромное декодирование линейных блочных кодов. Понятие синдрома.

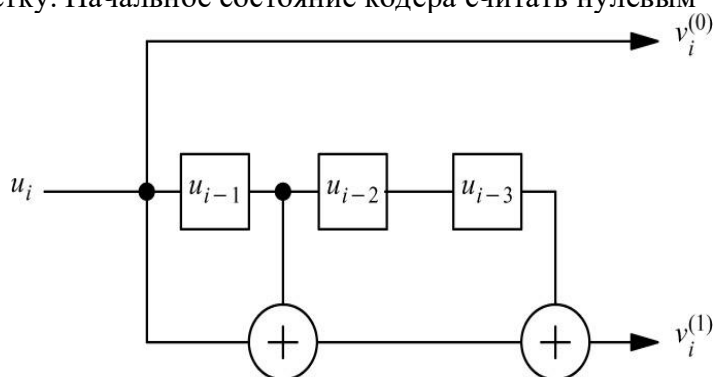
5.2.4. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задача 1

Показать, что полином $g(X) = 1 + X^2 + X^4 + X^6 + X^7 + X^{10}$ задает (21,11) циклический код. Построить схему вычисления синдромов. Вычислить синдром полинома $r(X) = 1 + X^5 + X^{17}$.

Задача 2

Для сверточного кода, представленного на рисунке, построить диаграмму состояний и решетку. Начальное состояние кодера считать нулевым



Задача 3

Для (5,8,7) сверточного кода декодировать последовательность 0011111100101110010110000111

5.2.5. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-2

Задача 1

Для линейного двоичного (8, 4) кода уравнения для проверки на четности задаются следующими выражениями

$$v_0 = u_1 + u_2 + u_3$$

$$v_1 = u_0 + u_1 + u_2$$

$$v_2 = u_0 + u_1 + u_3$$

$$v_3 = u_0 + u_2 + u_3$$

где u_0, u_1, u_2, u_3 информационные биты, v_0, v_1, v_2, v_3 проверочные биты.

- Найти порождающую матрицу и проверочную матрицу данного кода

- Показать что минимальное расстояние данного кода равно 4
- Построить стандартное расположение для данного кода
- Вычислить таблицу синдромов

Задача 2

Порождающая матрица (6,3) двоичного кода равна

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

- Найти порождающие и проверочные матрицы эквивалентного систематического кода (два кода называются эквивалентными, если совпадают их кодовые слова)
- Определить число ошибок, которые может исправлять данный код
- Построить стандартное расположение для данного кода
- Построить таблицу синдромов

Задача 3

(15,11) циклический код задается порождающим полиномом $g(X) = 1 + X + X^4$

- Найти проверочный полином $h(X)$ кода
- Построить порождающую и проверочную матрицы данного кода в систематическом виде

Задача 4

Для $(2^m - 1, 2^m - m - 1)$ кода Хэмминга определить число синдромов в таблице синдромов

Задача 5

Для (15,11) циклического кода заданного порождающим полиномом $g(X) = 1 + X + X^4$ построить схемы кодирования и декодирования

5.2.4. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-3

Оформить отчет по итогам выполнения зачетного задания.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- Теория кодирования. [Электронный ресурс] / Сидельников В.М. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922109437.html>
- Основы теории кодирования: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Кудряшов Б.Д. - СПб: БХВ-Петербург, 2016. - 400 с. – Электронно-библиотечная система Znanium.com

б) дополнительная литература:

- Матвеев, Б.В. Основы корректирующего кодирования: теория и лабораторный практикум. + CD [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 192 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/68473>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещение представляет собой учебную аудиторию для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенное оборудованием и техническими средствами обучения: компьютер, мультимедийный проектор.

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 - магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования РФ 07.08.2020 № 918).

Автор: Давыдов А.В.

Рецензент: Ивлев Д.Н.

Заведующий кафедрой: Мальцев А.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «14» ноября 2022 года, протокол № 08/22.