

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**

Теория помехоустойчивого кодирования

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

02.04.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

---

Направленность образовательной программы

Теория информации

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.01 Теория помехоустойчивого кодирования 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 руководить научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, в области информатики и информационных технологий (ФИИТ), и формировать их новые направления в области профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Знает проблематику и методы научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1.2: Имеет навыки выполнения научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1.3: Имеет навыки руководства исследованиями и опытно-конструкторскими разработками в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности, и формирования их новых направлений</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать проблемы и методы научных исследований, опытно-конструкторских разработок в области информатики и информационных технологий (ФИИТ)</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 основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации о выполнении научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ</p> <p>Уметь</p>	Собеседование	<p>Зачёт:</p> <p>Задачи</p> <p>Контрольные вопросы</p>

		<p>самостоятельно составлять научно технические отчеты и документацию о выполнении научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ</p> <p>Владеть навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций</p> <p>ПК-1.3: Знать основные способы представления и продвижения результатов в области опытно-конструкторских разработок, формировать их новые направления в области информатики и информационных технологий (ФИИТ)</p> <p>Уметь Организовывать и выполнять, научные исследования и опытно-конструкторские разработки в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности</p> <p>Владеть навыками руководства научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к цифровой обработке сигналов</p>		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	

<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>32</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>0</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>75</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	
Часть 1. Введение	2	1		1	1
Часть 2. Основные критерии, применяемые при декодирование принятой последовательности	7	2		2	5
Часть 3. Линейный блоковые коды, их представление и основные свойства	11	3		3	8
Часть 4. Стандартное расположение и синдромное декодирование линейных блоковых кодов	11	3		3	8
Часть 5. Циклические коды, их представление и основные свойства	11	3		3	8
Часть 6. Возможные подходы реализации схем кодирования и декодирования циклических кодов	13	4		4	9
Часть 7. Сверточные коды, их представление и свойства	13	4		4	9
Часть 8. Декодирования сверточных кодов с помощью алгоритма Витерби. Практические аспекты их применения в современных системах связи	13	4		4	9
Часть 9. Декодирование по критерию максимума апостериорной информации	13	4		4	9
Часть 10. Основные принципы построения и декодирования турбо кодов	13	4		4	9
Аттестация	0				
КСР	1			1	
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>32</b>	<b>0</b>	<b>33</b>	<b>75</b>

### Содержание разделов и тем дисциплины

Часть 1.

Введение

Часть 2.

Основные критерии, применяемые при декодирование принятой последовательности

Часть 3.

Линейный блоковые коды, их представление и основные свойства

Часть 4.

Стандартное расположение и синдромное декодирование линейных блоковых кодов

Часть 5.

Циклические коды, их представление и основные свойства

Часть 6.

Возможные подходы реализации схем кодирования и декодирования циклических кодов

Часть 7.

Сверточные коды, их представление и свойства

Часть 8.

Декодирования сверточных кодов с помощью алгоритма Витерби. Практические аспекты их применения в современных системах связи

Часть 9.

Декодирование по критерию максимума апостериорной информации

Часть 10.

Основные принципы построения и декодирования турбо кодов

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.

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.

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

#### **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. Определение линейного блокового кода. Порождающая и проверочная матрицы. Процедура кодирования систематического кода..
2. Свойства линейных блоковых кодов. Минимальное расстояние линейного блокового кода.
3. Синдромное декодирование линейных блоковых кодов. Понятие синдрома.
4. Коды Хэмминга и их свойства.
5. Кодирование циклических кодов. Схемная реализация кодирования циклических кодов.
6. Декодирования по критерию максимума апостериорной информации.
7. Турбо коды
8. Коды с малой плотностью проверки на четность.

### 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	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	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	обучающегося от ответа			негрубых ошибок	несущественных ошибок		
<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 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 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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

##### 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, 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

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

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

##### Задача 3

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

Найти проверочный полином  $h(X)$  кода

- а.
- б. Построить порождающую и проверочную матрицы данного кода в систематическом виде

##### Задача 4

Для кода  $(2^m - 1, 2^m - m - 1)$  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.

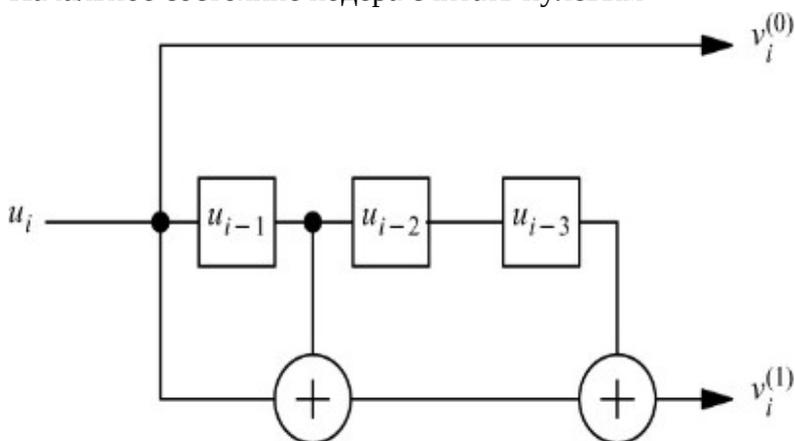
### Задача 6

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 7

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



### Задача 8

Для (58,78) сверточного кода декодировать последовательность 0011111100101110010110000111

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

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»

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

1. Основные критерии декодирования помехоустойчивых кодов. Декодирование по критерию минимального расстояния для двоично-симметричного канала и двоичного канала с аддитивным белым гауссовским шумом.
2. Основные задачи теории помехоустойчивого канального кодирования. Расстояние и вес Хэмминга. Статистическая модель системы связи. Классификация схем помехоустойчивого кодирования. Границы помехоустойчивости и их геометрическая интерпретация.
3. Введение в алгебру. Построение поля  $GF(p^m)$ . Понятие векторного пространства.
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.
5. Свойства линейных блочных кодов. Минимальное расстояние линейного блочного кода. Связь минимального расстояния кода и количества исправляемых ошибок. Геометрическая интерпретация.
6. Синдромное декодирование линейных блочных кодов. Понятие синдрома. Стандартное расположение. Таблица синдромов.
7. Границы помехоустойчивости линейных блочных кодов. Границы Синглтона и Хэмминга.
8. Примеры построения линейных блочных кодов. Коды Хэмминга и их свойства. Минимальное расстояние кодов Хэмминга.
9. Определение циклического кода. Алгебраическая связь вектора и его циклического сдвига. Свойства циклических кодов. Порождающая матрица циклического кода. Систематические циклические коды.
10. Кодирование циклических кодов. Схемная реализация кодирования циклических кодов. Ускоренные методы кодирования циклических кодов. Практическое применение циклических кодов.
11. Декодирование циклических кодов. Вычисление синдрома циклических кодов. Теорема Меггита. Структурная схема декодера Меггита.
12. Определение кодов Рида-Соломона. Построение и схемная реализация процедуры кодирования.
13. Декодирование кодов Рида-Соломона. Декодер Питерсона-Горенштейна-Цилера.
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.
15. Декодирование сверточных кодов. Метрика ребра, частичного пути и пути. Алгоритм Витерби. Вычислительная сложность алгоритма Витерби. Пример декодирования Витерби для простейших сверточных кодов.

16. Практические особенности применения сверточных кодов в системах связи. Процедура блочного и сверточного интерливинга. Повышение скорости кодирования сверточных кодов с помощью процедуры выкалывания.

17. Декодирование сверточных кодов с мягкими решениями. Вычисление LLR для 16-КАМ модуляции.

18. Турбо кодирование. Структурная схема процедуры кодирования, на примере параллельного соединения двух сверточных кодов. Декодирования по критерию максимума апостериорной информации. VCSJR алгоритм декодирования.

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.

### **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 зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

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

Основная литература:

1. 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.

Дополнительная литература:

1. 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.

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

1. Давыдов А.В., Мальцев, А.А. Введение в теорию помехоустойчивого кодирования  
<http://www.unn.ru/pages/ranking/method/vtpk.pdf>

### **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: Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

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 02.04.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Аверин Илья Михайлович, кандидат технических наук.

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

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