

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Механико-математический факультет

**УТВЕРЖДАЮ**  
декан механико-  
математического факультета  
/А.И.  
Шафаревич /  
« 14 » октября 2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**Введение в теорию помехоустойчивого кодирования**

---

**Уровень высшего образования:**

*магистратура*

---

**Направление подготовки / специальность:**

**02.04.01 "Математика и компьютерные науки" (3++)**

---

**Направленность (профиль)/специализация ОПОП:**

**Интеллектуальные системы. Теория и приложения**

---

**Форма обучения:**

*очная*

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
на заседании Ученого совета механико-математического факультета  
(протокол № 7 от 14 октября 2021 года)

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 02.04.01 "Математика и компьютерные науки" утвержденного Приказом Министерства образования и науки РФ от 10 января 2018 г. N 13.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:

дисциплина относится к блоку профессиональной подготовки вариативной части ОПОП ВО.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):

Для того чтобы изучение дисциплины было возможно, обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Знать: основные понятия, концепции, результаты и методы дискретной математики, теории вероятностей, математического анализа и линейной алгебры.

Уметь: решать стандартные задачи дискретной математики и теории вероятностей.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>		
<b>Содержание и код компетенции.</b>	<b>Индикатор (показатель) достижения компетенции</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с индикаторами достижения компетенций</b>
ПК-7. Способен руководить проектами по созданию комплексных систем на основе аналитики больших данных в различных отраслях со стороны заказчика	<p>ПК-7.1. Руководит проектами по построению комплексных систем на основе аналитики больших данных в различных отраслях со стороны заказчика</p> <p>ПК-7.2. Применяет варианты использования больших данных, определений, словарей и эталонной архитектуры больших данных в рамках проектов по созданию комплексных систем на основе аналитики больших данных в различных отраслях со стороны заказчика</p>	<p>ПК-7.1. 3-1. Знает методологию и принципы руководства проектами по созданию, поддержке и использованию комплексных систем на основе аналитики больших данных со стороны заказчика</p> <p>ПК-7.1. 3-2. Знает специфику сфер и отраслей, для которых реализуется проект по аналитике больших данных</p> <p>ПК-7.1. У-1. Умеет решать задачи по руководству коллективной проектной деятельностью для создания, поддержки и использования комплексных систем на основе аналитики больших данных со стороны заказчика</p> <p>ПК-7.1. У-2. Умеет выявлять небольшие по масштабу проекты аналитики, которые потенциально могут представлять интерес для ряда подразделений / служб или для организации в целом</p> <p>ПК-7.1. У-3. Умеет выявлять области деловой деятельности, которые потенциально могут получить отдачу от аналитики</p> <p>ПК-7.2. У-1. Умеет включать описание варианта использования, описывать его контекст, проблемы, используемые подходы и методологию, инструменты, технологии и преимущества приложений аналитики больших данных в контексте деловой деятельности / процесса / продукта, на основе доступной из открытых источников информации</p>

		<p>ПК-7.2. У-2. Умеет определять стратегию деловой деятельности, включая приоритеты, направленность, цели и сроки, с учетом внутренних и внешних факторов</p> <p>ПК-7.2. У-3. Умеет документировать политику организации в области внедрения аналитики больших данных, её видение и приверженность ему, а также то, как аналитика больших данных создает возможности для заинтересованных сторон</p> <p>ПК-7.2. У-4. Рассматривает отрасль и вертикаль, являющиеся предметом делового интереса, и фильтрует вышеперечисленные данные</p>
--	--	--

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., в том числе 32 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 76 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости* (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы				
	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа			
Тема 1 Классические алгебраические коды	8		19	27	опрос
Тема 2 Современные коды на графах	8		19	27	опрос

Другие виды самостоятельной работы (отсутствуют)	—	—			—
Промежуточная аттестация (экзамен)					
<b>Итого</b>	16		38	54	—

## 5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	Тема 1 Классические алгебраические коды.	Общая постановка задачи исправления ошибок в каналах связи. Определения функции кодирования/декодирования, кода, скорости, минимального расстояния. Модели каналов связи (BSC, BEC, AWGN, BA WGN), виды модуляций BPSK, QAM, m-APSK. Мягкие и жесткие решения. ML- и MAP-декодирование. Метрики на пространстве сигналов (евклидова, Хэмминга, обобщенная Хэмминга) и их связь с ML-декодером. Задача о плотной упаковке шаров в различных пространствах. Пропускная способность канала, формулировка прямой и обратной теорем Шеннона. Линейные коды. Размерность, минимальное расстояние, проверочная, порождающая матрицы, приведение к систематическому виду. Понятие двойственного кода. Примеры кодов - код проверки на четность, код повторения, код Хэмминга. Синдромный декодер. Декодирование коротких кодов алгоритмом OSD. Классические неравенства на параметры кода: Хемминга, Синглтона, Варшамова-Гилберта (вероятностная и комбинаторная версии), прямая теорема Шеннона для линейных кодов и BSC. Коды Рида-Маллера. Связь с полиномами Жегалкина и полярными кодами. Коды Рида-Соломона и коды с локальным восстановлением. Циклические коды. Преобразование Фурье.
2.	Тема 2 Современные коды на графах.	Низкоплотностные (LDPC) коды. Граф Танера, обхват графа, условие отсутствия циклов длины 4. Конструкции. Экспандеры, поднятия, квазициклические LDPC и оценка сверху на минимальное расстояние. Сверточные коды. Связь с линейными автоматами. Решетка кода и алгоритм декодирования Витерби. Общее представление о турбо-кодах. Квантовые коды. Низкоплотностные квантовые CSS коды и их связь с цепными комплексами над конечным полем.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

Задания на программную реализацию работы кодов, исправляющих ошибки:

Кодирование/декодирование небинарного кода Хэмминга
Нахождение минимального расстояния кода $[n, k, d]$ , где $n \leq 70$ через тождество Мак-Вильямс
Систематический кодер для квазициклического LDPC кода
Верхняя оценка минимального расстояния квазициклического LDPC кода через перманент матрицы
Декодер для кода Рида-Маллера
Декодер bit flipping для LDPC кода
Оценка порога семейства LDPC кодов по паре многочленов $(\lambda(x), \rho(x))$
Декодирование короткого $[n, k, d]$ кода, где $n \leq 200$ , при помощи OSD-декодера
Декодер для кода Рида-Сломона, исправляющий стирания
Декодер для кода Рида-Соломона, исправляющий ошибки
Декодер для кода БЧХ, исправляющий ошибки

Темы докладов и отчетных работ:

Лифтинг квазициклического LDPC кода методом PEG
Коды для исправления пакетов ошибок (bursts) на примере кодов Файра
Коды LRC на примере конструкции Тамо-Барга (arXiv:1311.3284)
Общие нижние оценки минимального расстояния циклического кода
Квантовые фрактальные коды (arXiv:1302.6248)
Систематический кодер для кода Рида-Соломона

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине, критерии и шкалы оценивания

Программа экзамена:

1. Основные направления в современной теории кодирования. Общая схема передачи информации. Модели канала с шумом (двоичный симметричный и гауссовский каналы).
2. Различные способы модуляции сигнала. Блочные и сверточные коды. MAP и ML декодирование. Пропускная способность канала связи и теорема Шеннона (без доказательства).
3. Основные структуры алгебры. Группы, кольца, поля, векторные пространства, многочлены, формальные ряды. Теорема о примитивном элементе. Структура аддитивной и мультипликативной групп поля.
4. Линейные коды над конечным полем, расстояние Хемминга, порождающая и проверочная матрицы, скорость кода, длина кодового слова, ортогональное дополнение, размерность. Коды Хемминга и их декодирование.
5. Граница Варшамова-Гильберта, граница Синглтона, граница Хемминга.
6. Коды Рида-Малера и мажоритарное декодирование. Полярные коды. Связь с кодами Рида-Маллера.
7. Коды БЧХ. Примеры. Граница БЧХ. Систематическое кодирование.
8. Коды Рида-Соломона. Особенности их практической реализации. Дискретное преобразование Фурье. Другое определение кодов Рида-Соломона.
9. Низкоплотностные (LDPC) коды. Граф Танера, обхват графа, условие отсутствия циклов длины 4. Конструкции. Экспандеры, поднятия, квазициклические LDPC и оценка сверху на минимальное расстояние.
10. Квантовые коды. Низкоплотностные квантовые CSS коды и их связь с цепными комплексами над конечным полем.

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине</b>				
Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
виды оценочных средств				
<b>Знания</b> (виды оценочных средств: опрос, тесты)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания

<b>Умения</b> (виды оценочных средств: практические задания)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> (виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

## 7. Ресурсное обеспечение:

### 7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

- 1) Мак-Вильямс Ф. Дж., Слоэн Н. Дж. А. *Теория кодов, исправляющих ошибки*. – М.: Связь, 1979.
- 2) Блейхут Р. *Теория и практика кодов, контролирующих ошибки*. – М.: Мир, 1986.
- 3) I.T. K. Moon, *Error Correction Coding: Mathematical Methods and Algorithms*, Wiley 2005.
- 4) Ромащенко А. Е., Румянцев А. Ю., Шень А, *Заметки по теории кодирования*. 2-е изд., испр. и доп. М.: МЦНМО, 2017., 88 с

7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства  
нет

7.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем  
нет

7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://intsys.msu.ru/>
2. <http://intsys.msu.ru/science/books/>

7.5. Описание материально-технического обеспечения.

Аудитории для проведения лекционных занятий.



8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

9. Разработчик (разработчики) программы.

к.ф.-м.н., н.с. П.А.Пантелеев.