

Минобрнауки России

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)**



УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Борисов Дмитрий Николаевич
Кафедра информационных систем

03.05.2023

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.05.01 Теория информации

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

09.03.04 Программная инженерия

2. Профиль подготовки/специализация:

Информационные системы и сетевые технологии

3. Квалификация (степень) выпускника:

Бакалавриат

4. Форма обучения:

Очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

Кафедра информационных систем

6. Составители программы:

Борисов Дмитрий Николаевич (borisov@cs.vsu.ru)

7. Рекомендована:

рекомендована НМС ФКН 03.05.2023, протокол № 7

8. Учебный год:

2025-2026

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель изучения дисциплины – формирование у обучающихся фундаментальных теоретических знаний в области дискретных источников сообщений, неравномерного кодирования дискретных источников; кодирования дискретных источников при неизвестной статистике; алгоритмов кодирования источников, применяемые в архиваторах; кодирования для дискретных каналов с шумом. В результате изучения дисциплины обучающиеся должны освоить теоретические основы кодирования информации, изучить основные алгоритмы построения эффективных кодов, используемых, в том числе и для сжатия информации. Кроме того обучающиеся должны освоить методику решения различных задач, связанных с процессами получения, передачи, хранения и использования информации.

Задачи изучения дисциплины:

- формирование у обучающихся систематических знаний в области теоретического кодирования информации;
- ознакомление обучающихся с перспективными направлениями в области сжатия информации;

- обучение обучающихся вопросам построения эффективных кодов, используемых для передачи информации.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина по выбору в рамках части, формируемой участниками образовательных отношений (вариативная) блока Б1. Для изучения дисциплины необходимо знать основы математического анализа, теоретические основы информатики, теорию вероятностей и математической статистики.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников) и индикаторами их достижения:

Код и название компетенции	Код и название индикатора компетенции	Знания, умения, навыки
ПКВ-17 Способен описывать алгоритмы компонентов системы, включая методы и схемы	ПКВ-17.2 Описывает алгоритмы и (или) функционирование программы с обоснованием выбора схем алгоритмов решения задач, возможных взаимодействий программы с другими программами	<p>Знать: алгоритмы и (или) функционирование программы с обоснованием выбора схем алгоритмов решения задач, возможных взаимодействий программы с другими программами</p> <p>Уметь: описывать алгоритмы и (или) функционирование программы с обоснованием выбора схем алгоритмов решения задач, возможных взаимодействий программы с другими программами</p> <p>Владеть: описыванием алгоритмов и (или) функционированием программ с обоснованием выбора схем алгоритмов решения задач, возможных взаимодействий программы с другими программами</p>
ПКВ-17 Способен описывать алгоритмы компонентов системы, включая методы и схемы	ПКВ-17.3 Описывает и обосновывает выбор метода организации входных и выходных данных по каждому алгоритму	<p>Знать: алгоритм описания и обоснования выбора метода организации входных и выходных данных по каждому алгоритму</p> <p>Уметь: описывать и обосновывать выбор метода организации входных и выходных данных по каждому алгоритму</p> <p>Владеть: обосновыванием выбора метода организации входных и выходных данных по каждому алгоритму</p>

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час:

4/144

Форма промежуточной аттестации:

Экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Семестр 5	Всего
Аудиторные занятия	68	68
Лекционные занятия	34	34
Практические занятия		
Лабораторные занятия	34	34
Самостоятельная работа	40	40
Курсовая работа		0
Промежуточная аттестация	36	36
Часы на контроль	36	36
Всего	144	144

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Энтропия дискретных источников	Дискретные источники сообщений. Измерение информации. Собственная информация. Энтропия. Выпуклые функции многих переменных. Условная энтропия. Дискретные случайные последовательности. Цепи Маркова. Энтропия на сообщении дискретного стационарного источника. Равномерное кодирование дискретного источника. Постановка задачи. Неравенство Чебышева. Закон больших чисел. Прямая теорема кодирования для дискретного постоянного источника. Обратная теорема кодирования для дискретного постоянного источника. Множество типичных последовательностей для дискретного постоянного источника. Источники с памятью.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6563#section-5
1.2	Неравномерное кодирование дискретных источников	Постановка задачи неравномерного побуквенного кодирования. Неравенство Крафта. Теоремы побуквенного неравномерного кодирования. Оптимальный побуквенный код – код Хаффмана. Избыточность кода Хаффмана. Код Шеннона. Код Гилберта-Мура. Неравномерное кодирование для стационарного источника.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6563#section-6

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1.3	Кодирование дискретных источников при неизвестной статистике	Постановка задачи универсального кодирования источников. Несколько полезных комбинаторных формул. Двухпроходное побуквенное кодирование. Нумерационное кодирование. Асимптотические границы избыточности универсального кодирования. Адаптивное кодирование. Сравнение алгоритмов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6563#section-7
1.4.	Алгоритмы кодирования источников, применяемые в архиваторах	Монотонные коды. Интервальное кодирование и метод «стопка книг». Метод скользящего словаря (LZ-77). Алгоритм LZW (LZ-78). Предсказание по частичному совпадению. Сжатие с использованием преобразования Барроуза-Уилера. Сравнение способов кодирования. Характеристики архиваторов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6563#section-8
1.5	Кодирование для дискретных каналов с шумом	Постановка задачи помехоустойчивого кодирования. Модели каналов. Взаимная информация. Средняя взаимная информация. Условная средняя взаимная информация. Теорема о переработке информации. Выпуклость средней взаимной информации. Информационная емкость и пропускная способность. Неравенство Фано. Обратная теорема кодирования. Вычисление информационной емкости каналов без памяти. Симметричные каналы. Прямая теорема кодирования для дискретных постоянных каналов. Типичные пары последовательностей. Типичные пары последовательностей.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6563#section-9
2. Практические занятия			
2.1	Ансамбли и вероятности	Вероятностные ансамбли. Байесовский вывод.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6563#section-15
2.2	Энтропия	Энтропия. Условная энтропия и ее свойства. Энтропия дискретного источника информации. Полная и частная энтропии.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6563#section-15
2.3	Марковские цепи	Стационарные Марковские цепи. Расчет условной энтропии стационарной Марковской цепи.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6563#section-16
2.4	Количество информации	Расчет количества информации. Свойства количества информации.	-
2.5	Неравномерное кодирование	Код Хаффмана. Код Шеннона-Фано. Код Гилберта-Мура. Арифметическое кодирование.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6563#section-18

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
2.6	Блоковый источник с n-кратным расширением	Кодирование блокового источника X2 и X3.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6563#section-18
2.7	Универсальный алгоритм сжатия	Алгоритм универсального кодирования Лемпеля-Зива. Декодирование LZ-кода. Алгоритм Лемпеля-Зива-Уэлча. Декодирования LZW.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6563#section-19
2.8	Каналы без памяти	Двоичный симметричный канал без памяти. Комбинирование источников.	-
2.9	Пропускная способность канала	Средняя взаимная информация. Пропускная способность двоичного симметричного канала.	-

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Всего
1	Энтропия дискретных источников	6	9		8	23
2	Неравномерное кодирование дискретных источников	7	8		8	23
3	Кодирование дискретных источников при неизвестной статистике	7	4		8	19
4	Алгоритмы кодирования источников, применяемые в архиваторах	7	8		8	23
5	Кодирование для дискретных каналов с шумом	7	5		8	20
6	Часы на контроль			36		36

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Всего
		34	34	36	40	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины рекомендуется систематическая подготовка к выполнению практических заданий, а также самостоятельная работа обучающегося, которая предусматривает подготовку к рубежным аттестациям и изучение дополнительной литературы по вопросам дисциплины.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

№ п/п	Источник
1	Попов, И. Ю. Теория информации / И. Ю. Попов, И. В. Блинова. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 160 с. — ISBN 978-5-507-44279-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — Режим доступа: https://reader.lanbook.com/book/218870
2	Ланских, Ю. В. Теория информации : учебник / Ю. В. Ланских. — Киров : ВятГУ, 2020. — 236 с. : Лань : электронно-библиотечная система. — Режим доступа: https://reader.lanbook.com/book/201926#1

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Котенко В. В. Теория информации: учебное пособие / В. В. Котенко, К.Е. Румянцев. - Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. - 240 с. - Университетская библиотека онлайн : электронно-библиотечная система. — Режим доступа : https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=561095
2	Теория вероятностей и математическая статистика: курс лекций : учебное пособие / авторы-составители Е. О. Тарасенко [и др.]. — Ставрополь : СКФУ, 2018. — 229 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — Режим доступа: https://reader.lanbook.com/book/307043
3	Майстренко Н. В. Основы теории информации и криптографии : учебное электронное издание: учебное пособие / Н. В. Майстренко , А. В. Майстренко. - Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО ТГТУ, 2018. - 81 с. - Университетская библиотека онлайн : электронно-библиотечная система. — Режим доступа : https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=570354
4	Усенко О. А. Приложения теории информации и криптографии в радиотехнических системах: учебное пособие / О. А. Усенко. - Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. - 239 с. - Университетская библиотека онлайн : электронно-библиотечная система. — Режим доступа : https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=500141

№ п/п	Источник
5	Волынская А.В. Теория информации: практикум / А.В. Волынская , Г.А. Черезов. - Издательство Уральского государственного университета путей сообщения, 2018. - 32 с. Лань: электронно-библиотечная система. — Режим доступа : https://e.lanbook.com/reader/book/121385/#1

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
1	www.lib.vsu.ru ЗНБ ВГУ

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	ЭУМК. Электронный университет ВГУ. - Режим доступа : https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6563

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

- 1) лекционная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором;
- 2) класс для проведения практических занятий;
- 3) вычислительные устройства для проведения расчетов алгебраических функций до третьего знака после десятичного разделителя.

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Разделы дисциплины (модули)	Код компетенции	Код индикатора	Оценочные средства для текущей аттестации
1	Энтропия дискретных источников Неравномерное кодирование дискретных источников	ПКВ-17	ПКВ-17.2	Контрольная работа 1. Тестовое задание 1 Контрольная работа 2 Тестовое задание 2

№ п/п	Разделы дисциплины (модули)	Код компетенции	Код индикатора	Оценочные средства для текущей аттестации
2	Кодирование дискретных источников при неизвестной статистике Алгоритмы кодирования источников, применяемые в архиваторах Кодирование для дискретных каналов с шумом	ПКВ-17	ПКВ-17.3	Тестовое задание 2 Контрольная работа 3 Тестовое задание 3 Контрольная работа 4

Промежуточная аттестация

Форма контроля - Экзамен

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Сформированные знания о фундаментальных положениях теории информации в части кодирования информации, передачи информации от различных источников по каналам. Сформированное умение формализовать задачу оценки информационных характеристик системы передачи информации, провести анализ ее работы и выделить наиболее значимые параметры Сформированы навыки анализа информационных характеристик системы передачи информации	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о фундаментальных положениях теории информации в части кодирования дискретных источников информации, алгоритмов кодирования источников. Успешное, но содержащее отдельные пробелы, умение формализовать задачу оценки информационных характеристик системы передачи информации, провести анализ ее работы и выделить наиболее значимые параметры Сформированы, но имеют отдельные пробелы, навыки анализа информационных характеристик системы передачи информации	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>

<p>Неполное представление о фундаментальных положениях теории информации в части кодирования дискретных источников при неизвестной статистике</p> <p>Умение формализовать задачу оценки информационных характеристик системы передачи информации, провести анализ ее работы и выделить наиболее значимые параметры, сопряженное с наличием существенных ошибок и способностью исправления при указании на них</p> <p>Сформированы, но имеют существенные пробелы, навыки анализа информационных характеристик системы передачи информации</p>	<p><i>Пороговый уровень</i></p>	<p><i>Удовлетворительно</i></p>
<p>Фрагментарные знания или отсутствие знаний</p> <p>Фрагментарные умения или отсутствие умений</p> <p>Отсутствие навыков</p>	<p>-</p>	<p><i>Неудовлетворительно</i></p>

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью контрольных раббот и тестовых заданий.

Контрольные (практико-ориентированные) задания

Пример контрольного задания 1.

Дано произведение ансамблей $XY=[x_1y_1x_1y_2x_1y_3x_2y_1x_2y_2x_2y_3]$

[0.21 0.42 0.07 0.09 0.18 0.03]

Определить, являются ли ансамбли X и Y независимыми, вычислить энтропию $H(X)$, $H(Y)$, $H(XY)$.

Пример контрольного задания 2.

Для набора вероятностей построить код Хаффмана, Шеннона, Гильберта-Мура, арифметического кодирования.

$z_1 = 0.249$, $z_2 = 0.03$, $z_3 = 0.085$, $z_4 = 0.04$, $z_5 = 0.11$, $z_6 = 0.124$, $z_7 = 0.022$, $z_8 = 0.142$, $z_9 = 0.138$, $z_{10} = 0.06$.

Пример контрольного задания 3.

Необходимо передать сообщение: НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО с помощью алгоритма кодирования LZ77.

Пример контрольного задания 4.

Даны вероятности появления входных символов в канале и вероятности верной/ошибочной передачи:

$p(x_0) = 0.5$, $p(x_1) = 0.5$, $p(y_0|x_0) = 1$, $p(y_0|x_1) = 0.5$, $p(y_1|x_0) = 0$, $p(y_1|x_1) = 0.5$.

Вычислить количество информации $I(X, Y)$.

Тестовые задания

Пример тестового задания 1.

Формула условного распределения вероятностей. Свойство энтропии дискретного ансамбля.

Формула условной энтропии при фиксированном событии. Свойства условной энтропии. Простая цепь Маркова. Энтропия на букву последовательности. Источник с памятью.

Пример тестового задания 2.

Неравенство Крафта. Код Гилберта-Мура. Двухпроходное побуквенное кодирование. Адаптивное кодирование. Условная средняя взаимная информация.

Пример тестового задания 3.

Характеристики архиваторов. Алгоритм LZW (LZ-78). Модели каналов. Симметричные каналы. Типичные пары последовательностей.

Контрольная работа и тестовые задания оцениваются по 50-бальной шкале каждая.

Приведённые ниже задания рекомендуется использовать при проведении диагностических работ для оценки остаточных знаний:

ПКВ-17

Задания открытого типа

1. Сложность кодирования и декодирования для алгоритма LZ-77

- A) равна
- B) не равна
- C) зависит от длины используемого словаря
- D) зависит от длины кодируемого сообщения

2. Для дискретного стационарного источника $H(X|X^n)$ с увеличением n

- A) не убывает
- B) убывает
- C) не возрастает
- D) возрастает

3. Какое количество переданной декодером информации определяет величина условной энтропии $H(X_n|X_1, \dots, X_{n-1})$

- A) среднее
- B) минимальное
- C) максимальное

4. Для ансамбля сообщений $X = \{1, \dots, M\}$ с вероятностями сообщений $\{p_1, \dots, p_M\}$ и упорядоченными по убыванию вероятностей чему равна длина кодовых слов для которых найдется не менее двух кодовых слов, которые имеют одинаковую длину равную

- A) средней длине
- B) минимальной длине
- C) максимальной длине

5. Определите правильное свойство монотонности собственной информации при $p(x_1) \geq p(x_2)$

Выберите один или несколько ответов:

- A) $I(x_1) \geq I(x_2)$
- B) $I(x_1) < I(x_2)$
- C) $I(x_1) \leq I(x_2)$
- D) $I(x_1) = I(x_2)$
- E) $I(x_1) \geq I(x_2)$
- F) $I(x_1) > I(x_2)$

6. Ансамбли X и Y независимы, если

Выберите один или несколько ответов:

- A) $H(XY) = H(X) + H(Y)$

- B) $H(XY) = H(X) - H(Y)$
- C) $H(XY) = H(X)/H(Y)$
- D) $H(XY) = H(X)H(Y)$

7. Собственная информация $I(x)$ сообщения x , выбираемого из дискретного ансамбля $X = \{x, p(x)\}$, называется величина

- A) $I(x) = -\log_2 p(x)$
- B) $I(x) = -\lg p(x)$
- C) $I(x) = \log_2 p(x)$
- D) $I(x) = -\ln(x)$

8. Выберите правильное высказывание, относящееся к энтропии

- A) обработка информации не приводит к увеличению энтропии
- B) к увеличению энтропии не приводит только упорядочивание информации, другие типы обработки ведут к увеличению энтропии
- C) информация и энтропия не связаны
- D) обработка информации приводит к увеличению энтропии

9. Если заданы ансамбли X, Y , то

- A) $H(X|Y) \geq H(X)$ при независимых ансамблях X, Y
- B) $H(X|Y) \leq H(X)$ при зависимых ансамблях X, Y
- C) $H(X|Y) \leq H(X)$ при независимых ансамблях X, Y
- D) $H(X|Y) \geq H(X)$ при зависимых ансамблях X, Y

10. Выберите правильное выражение условной собственной информации

- A) $I(x|y) = -\lg p(x|y)$
- B) $I(x|y) = -\log_2 p(y|x)$
- C) $I(x|y) = -\log_2 p(xy)$
- D) $I(x|y) = \log_2 p(x|y)$
- E) $I(x|y) = -\log_2 p(x|y)$

Задания закрытого типа

1. Запишите код Галаггера-Ван Вухриса для числа $i=23$ и $T=5$

2. Запишите унарный код для числа 9

3. Сколько найдется слов, различающиеся только в одном последнем символе, для ансамбля сообщений $X = \{1, \dots, M\}$ с вероятностями сообщений $\{p_1, \dots, p_M\}$ и упорядоченными по убыванию вероятностей, среди кодовых слов длиной $l_m = \max_m l_m$

Задание с развёрнутым ответом

Дано произведение ансамблей XY (указаны совместные вероятности)

$p(x_1y_1) \quad p(x_1y_2) \quad p(x_2y_1) \quad p(x_2y_2)$

0.1 0.15 0.15 0.6

Вычислите вероятности $p(x_1), p(y_1), p(x_2), p(y_2)$

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью собеседования по экзаменационным билетам.

Для оценивания результатов обучения с помощью собеседования по экзаменационным билетам используются следующие показатели : владение понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способность иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических

задач определения основных информационных характеристик источников сообщений и каналов связи.

КИМ формируется из трех теоретических вопросов и одной практической задачи.

Перечень вопросов к экзамену

Дискретные источники сообщений. Измерение информации. Собственная информация. Энтропия. Условная энтропия. Дискретные случайные последовательности. Цепи Маркова. Энтропия на сообщение дискретного стационарного источника. Равномерное кодирование дискретного источника. Постановка задачи. Неравенство Чебышева. Закон больших чисел. Прямая теорема кодирования для дискретного постоянного источника. Обратная теорема кодирования для дискретного постоянного источника. Множество типичных последовательностей для дискретного постоянного источника. Источники с памятью. Постановка задачи неравномерного побуквенного кодирования. Неравенство Крафта. Теоремы побуквенного неравномерного кодирования. Код Хаффмена. Избыточность кода Хаффмена. Код Шеннона. Код Гилберта-Мура. Неравномерное кодирование для стационарного источника. Постановка задачи универсального кодирования источников. Несколько полезных комбинаторных формул. Двухпроходное побуквенное кодирование. Нумерационное кодирование. Асимптотические границы избыточности универсального кодирования. Адаптивное кодирование. Сравнение алгоритмов. Монотонные коды. Интервальное кодирование и метод «стопка книг». Метод скользящего словаря (LZ-77). Алгоритм LZW (LZ-78). Предсказание по частичному совпадению. Сжатие с использованием преобразования Барроуза-Уилера. Сравнение способов кодирования. Характеристики архиваторов. Постановка задачи помехоустойчивого кодирования. Модели каналов. Взаимная информация. Средняя взаимная информация. Условная средняя взаимная информация. Теорема о переработке информации. Выпуклость средней взаимной информации. Информационная емкость и пропускная способность. Неравенство Фано. Обратная теорема кодирования. Вычисление информационной емкости. каналов без памяти. Симметричные каналы. Прямая теорема кодирования для дискретных постоянных каналов. Типичные пары последовательностей.