

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Теория кодирования

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы

Инженерия программного обеспечения

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.07.05 Теория 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-3: Способен создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе, с учетом возможностей современных информационных технологий и программирования и компьютерной техники | ПК-3.1: Знает методы анализа и исследования математических моделей в области фундаментальной информатики и информационных технологий ПК-3.2: Умеет определять ключевые свойства и ограничения системы | ПК-3.1: Знать: основные математические модели для описания свойств кодируемой информации; методы и алгоритмы экономного кодирования; арифметическое кодирование; словарные методы сжатия; алгоритм равномерного блочного кодирования для вероятностных источников. ПК-3.2: Уметь: строить модели, описывающие свойства кодируемой информации, на стандартных примерах; иллюстрировать работу изученных алгоритмов экономного кодирования на примерах; пользоваться навыками по моделированию свойств кодируемой информации; изученными методами и алгоритмами экономного кодирования. | Контрольная работа | Зачёт: Контрольные вопросы |

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 3 |
| Часов по учебному плану | 108 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 24 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 0 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 83 |
| Промежуточная аттестация | 0 Зачёт |

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 о | 0 ф о | 0 ф о | 0 ф о | 0 ф о |
| 1. Алфавитное кодирование и методы экономного кодирования | 22 | 6 | | 6 | 16 |
| 2. Кодирование вероятностных источников | 18 | 4 | | 4 | 14 |
| 3. Арифметическое кодирование | 18 | 4 | | 4 | 14 |
| 4. Кодирование натуральных чисел | 10 | 2 | | 2 | 8 |
| 5. Словарные методы сжатия | 18 | 4 | | 4 | 14 |
| 6. Другие методы экономного кодирования | 21 | 4 | | 4 | 17 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | 1 | |
| Итого | 108 | 24 | 0 | 25 | 83 |

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Алфавитное кодирование и методы экономного кодирования

Модель алфавитного кодирования. Префиксные коды. Неравенство Мак-Миллана. Проблема распознавания взаимной однозначности алфавитного кодирования. Алгоритм А.А. Маркова. Постановка задачи оптимального кодирования. Алгоритмы Хаффмана, Фано, Шеннона. Энтропия и ее связь со стоимостью оптимального кодирования. Динамический алгоритм Хаффмана.

2. Кодирование вероятностных источников

Кодирование вероятностных источников. Теорема Шеннона для канала без шума. Метод равномерного блочного кодирования.

3. Арифметическое кодирование

Алгоритм арифметического кодирования. Адаптивный алгоритм арифметического кодирования, работающий с целыми числами фиксированной длины.

4. Кодирование натуральных чисел

Унарный код. Код Голомба-Райса. Коды Левенштейна для кодирования чисел.

5. Словарные методы сжатия

Классические методы Лемпеля-Зива. Алгоритмы LZ77 и LZ78 и их модификации.

6. Другие методы экономного кодирования

Сжатие с помощью «стопки книг». Кодирование длин серий. Преобразование Барроуза-Уиллера (BWT).

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.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "Теория кодирования (ПМИ, ФИИТ, ПрИнж) 4 курс (Спецкурс)" (<https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=4572>).

Иные учебно-методические материалы: Жильцова Л.П., Смирнова Т.Г. Основы теории графов и теории кодирования в примерах и задачах: учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. - 64с. // Фонд образовательных электронных ресурсов. Рег. № 1437.17.06.

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 - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Вариант 1

1. Построить источник, генерирующий последовательность символов в алфавите $B = \{a, b, c, d\}$ с заданными запрещенными фрагментами $\{aa, ab\}$.

2. В построенном источнике задать вероятности на дугах. Найти энтропию источника и вероятности появления букв в типичном сообщении.

3. Используя алгоритм Маркова, выяснить, является ли код $V = \{1, 100, 0001, 010, 0010\}$ взаимно-однозначным. Если код не взаимно-однозначный, указать пару слов, которые кодируются одинаково.

4. Для распределения вероятностей $P = (0,2; 0,1; 0,3; 0,25; 0,15)$, заданного на множестве букв алфавита $B = \{a, b, c, d, e\}$, построить оптимальный двоичный префиксный код и найти стоимость кодирования.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| зачтено | Приведено полное решение задач. Представлены необходимые теоретические обоснования, приводящие к правильному решению. Контрольная работа выполнена в срок и представлена преподавателю. |
| не зачтено | Решены не все задачи или хотя бы в одной из задач допущены ошибки, и (или) контрольная работа не выполнена в срок, и (или) не представлена преподавателю. |

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 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 несущественных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет. | 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 | 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 несущественными недочетами, выполнены все | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |

| | | | | | | | |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| | | | | | | задания в полном объеме | |
| <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 некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и 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 | 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». |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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». |
| | плохо | 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 - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Алфавитное кодирование. Префиксные коды. Неравенство Мак-Миллана. Построение схемы префиксного кодирования по набору длин.
2. Проблема распознавания взаимной однозначности алфавитного кодирования. Алгоритм А.А. Маркова.

3. Постановка задачи оптимального кодирования. Теорема редукции. Алгоритм оптимального кодирования (алгоритм Хаффмана).
4. Алгоритмы экономного кодирования Фано и Шеннона.
5. Энтропия. Связь стоимости оптимального кодирования с энтропией.
6. Алгоритм равномерного блочного кодирования. Его асимптотическая оптимальность.
7. Кодирование вероятностных источников. Теорема Шеннона для канала без шума.
8. Словарные методы сжатия. Алгоритм LZ77, кодирование и декодирование.
9. Словарные методы сжатия. Алгоритм LZ78, кодирование и декодирование.
10. Арифметическое кодирование.
11. Коды Левенштейна для кодирования целых чисел.
12. Сжатие с помощью «стопки книг».
13. Кодирование длин серий.
14. Преобразование Барроуза-Уилера.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|-----------------------------------------------------------------------|
| зачтено | Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок. |
| не зачтено | При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале. |

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

Основная литература:

1. Марков Александр Александрович. Введение в теорию кодирования : [учеб. пособие для вузов по специальности "Прикладная математика"]. - М. : Наука, 1982. - 192 с. - 0.35., 49 экз.
2. Жильцова Л. П. Основы теории графов и теории кодирования в примерах и задачах : учебно-методическое пособие / Жильцова Л. П., Смирнова Т. Г. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2017. - 64 с. - Рекомендовано методической комиссией института информационных технологий, математики и механики для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 010302 «Прикладная математика и информатика», 020302 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», 090303 «Прикладная информатика (в информационной сфере)», 090304 «Программная инженерия». - Библиогр.: доступна в карточке

книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Математика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=729893&idb=0>.

3. Шоломов Л. А. Основы теории дискретных логических и вычислительных устройств / Шоломов Л. А. - 3-е изд., испр. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 432 с. - Допущено УМО по классическому университетскому образованию в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению ВПО 010500 — «Прикладная математика и информатика» и 010400 — «Информационные технологии». - Книга из коллекции Лань - Математика. - ISBN 978-5-8114-1197-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=799731&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Редькин Н. П. Дискретная математика / Редькин Н. П. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 264 с. - Рекомендовано УМО по классическому университетскому образованию в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 010100 «Математика», 010200 «Математика. Прикладная математика», 011000 «Механика. Прикладная математика». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ФИЗМАТЛИТ - Математика. - ISBN 978-5-9221-1093-8., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=665776&idb=0>.

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

<https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=4572>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

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 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Смирнова Татьяна Геннадьевна, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Золотых Николай Юрьевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.