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 |

|  |
| --- |
| УТВЕРЖДАЮ: |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Директор |  | В.П. Гергель |

**Рабочая программа дисциплины**

|  |
| --- |
| **Теория кодирования** |

Уровень высшего образования

|  |
| --- |
| **Бакалавриат** |

Направление подготовки

|  |
| --- |
| **01.03.02 Прикладная математика и информатика** |

Направленность образовательной программы

|  |
| --- |
| **Прикладная математика и информатика (общий профиль)** |

Квалификация

|  |
| --- |
| **Бакалавр** |

Форма обучения

|  |
| --- |
| **Очная** |

Нижний Новгород

2018

**1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Теория кодирования» относится к вариативной части (Б.1.В.ДВ.08.02) ОПОП бакалавриата по направлению подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика» (общий профиль), является курсом по выбору и преподается на 4 году обучения в 7 семестре.

Студенты к моменту изучения дисциплины «Кодирование информации» ознакомлены с основными теоретическими понятиями и прикладными знаниями, полученными в рамках изучения дисциплин «Дискретная математика», «Основы программирования», «Алгоритмы и структуры данных», «Математическая логика и теория алгоритмов».

К моменту изучения дисциплины студенты владеют теоретическими основами и практикой программирования и имеют устойчивые представления об алгоритмах и их вычислительной сложности.

**Целью освоения дисциплины «Теория кодирования» является** ознакомление студентов с методами и алгоритмами теории кодирования. Основное внимание уделяется вопросам экономного кодирования, целью которого является сжатие информации. Студенты изучают алгоритмы кодирования, применяемые в современных программах – архиваторах для сжатия информации без потерь.

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

|  |  |
| --- | --- |
| **Формируемые компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций** |
| ***ПК1***  *способность собирать, обрабатывать и интерпретиро-вать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствую-щим научным исследованиям.*  *(завершающий этап)* | ***ЗНАТЬ***  *З1(ПК-1) математические модели для описания свойств кодируемой информации:*  *1) источники с конечным числом состояний;*  *2) локальные модели языков сообщений;*  *3) контекстное моделирование.*  *З2(ПК-1) методы и алгоритмы дисциплины «Теория кодирования»:*  *1) алгоритмы экономного кодирования: алгоритмы Хаффмана, Фано, Шеннона, арифметического кодирования;*  *2) словарные методы сжатия Лемпеля- Зива;*  *3) коды Левенштейна для кодирования целых чисел;*  *4) алгоритм равномерного блочного кодирования для вероятностных источников;*  *5) метод кодирования, использующий контекстную модель языка сообщений;*  *6) локально-префиксное кодирование.*  ***УМЕТЬ***  *У1(ПК-1) строить модели, описывающие свойства кодируемой информации, на стандартных примерах;*  *У2(ПК-1) иллюстрировать работу изученных алгоритмов экономного кодирования на примерах.*  ***ВЛАДЕТЬ***  *В1(ПК-1) навыками по моделированию свойств кодируемой информации;*  *В2(ПК-1) изученными методами и алгоритмами экономного кодирования.* |

Окончательное завершение формирования компетенции, предусмотренной в рамках данной дисциплины, происходит при прохождении производственной практики и подготовке ВКР.

**3. Структура и содержание дисциплины «Теория кодирования»**

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа (практические занятия), 1 час промежуточной аттестации), 39 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Содержание дисциплины**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,**  **форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)** | **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 |  | Очная | Очная |
| **Универсальные методы кодирования.**  Алфавитное кодирование. 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. Алгоритм арифметического кодирования. Адаптивный алгоритм арифметического кодирования, работающий с целыми числами фиксированной длины. | 22 | 4 | 4 |  |  | 8 | 14 |
| **Кодирование целых чисел.**  Коды Левенштейна для кодирования целых чисел. | 8 | 2 | 2 |  |  | 4 | 4 |
| **Словарные методы сжатия**.  Классические методы Лемпеля-Зива. Алгоритмы LZ77 и LZ78 и их модификации. | 8 | 2 | 2 |  |  | 4 | 4 |
| **Моделирование и кодирование.**  Кодирование вероятностных источников. Теорема Шеннона для канала без шума. Метод равномерного блочного кодирования.  Локально-префиксные коды, учитывающие локальную модель языка сообщений.  Контекстное моделирование. Алгоритм PPM, использующий контекстную модель. | 18 | 4 | 4 |  |  | 8 | 10 |
| **Другие методы экономного кодирования.**  Сжатие с помощью «стопки книг». Преобразование Барроуза-Уиллера (BWT).  Кодирование длин серий. | 15 | 4 | 4 |  |  | 8 | 7 |
| **В т.ч. текущий контроль** | 2 |  |  |  |  |  |  |
| **Промежуточная аттестация: зачет** | | | | | | | |

**4. Образовательные технологии**

Используются образовательные технологии в форме лекций, практических занятий, занятий семинарского типа.

**Лекция-информация.** Ориентирована на изложение и объяснение студентам научной информации, подлежащей осмыслению и запоминанию.

**Лекция-беседа**, или «диалог с аудиторией», является наиболее распространенной и сравнительно простой формой активного вовлечения студентов в учебный процесс. Эта лекция предполагает непосредственный контакт преподавателя с аудиторией. Преимущество лекции-беседы состоит в том, что она позволяет привлекать внимание слушателей к наиболее важным вопросам темы, определять содержание и темп изложения учебного материала с учетом особенностей обучаемых.

**Лекция-консультация** по типу **«вопросы—ответы»**. Лектор отвечает в течение лекционного времени на вопросы студентов по всем разделу или всему курсу. Проводится перед промежуточной аттестацией.

**Практические занятия.** Одна из форм учебного занятия, направленная на развитие самостоятельности обучающихся и приобретение умений и навыков. Данные учебные занятия углубляют, расширяют, детализируют полученные на лекции знания. Практическое занятие предполагает выполнение студентами по заданию и под руководством преподавателей нескольких домашних практических работ.

**Занятия семинарского типа.** Занятие предполагает подготовку студентами научных докладов на темы, предложенные преподавателем, и выступление с докладами с последующим обсуждением.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является зачет, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

**5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

**5.1. Виды самостоятельной работы студентов**

* Выполнение домашних практических заданий.
* Чтение справочной, методической и научной литературы.
* Подготовка научных докладов.

**5.2. Образовательные материалы для самостоятельной работы студентов, практические задания для проведения текущего контроля**

Практические домашние задания формируются на основе учебно-методического пособия:

* 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. URL: <http://www.unn.ru/books/met_files/Graphs.pdf>

Темы для докладов на занятиях семинарского типа:

1. Динамический алгоритм Хаффмана.

2. Факсимильное кодирование.

3. Коды Левенштейна для кодирования целых чисел.

4. Арифметическое кодирование.

5. Алгоритмы Лемпеля-Зива.

6. Коды длин серий.

7. Сжатие «стопкой книг».

8. Преобразование Барроуза-Уилера.

**5.3. Вопросы для контроля**

* 1. Префиксные коды. Неравенство Мак-Миллана.
  2. Проблема распознавания взаимной однозначности алфавитного кодирования. Алгоритм А.А. Маркова.
  3. Постановка задачи оптимального кодирования. Связь стоимости оптимального кодирования с энтропией.
  4. Алгоритм равномерного блочного кодирования.
  5. Алгоритмы Хаффмана, Фано, Шеннона.
  6. Адаптивный однопроходный алгоритм Хаффмана.
  7. Алгоритм арифметического кодирования кодов.
  8. Адаптивный алгоритм арифметического кодирования, работающий с целыми числами фиксированной длины.
  9. Код Левенштейна для кодирования целых чисел.
  10. Метод Лемпеля-Зива. LZ77 и его модификации.
  11. Метод Лемпеля-Зива. LZ78 и его модификации.
  12. Кодирование вероятностных источников. Теорема Шеннона для канала без шума.
  13. Контекстное моделирование. Алгоритм PPM, использующий контекстную модель.
  14. Локальная модель языка. Локально-префиксные коды.
  15. Сжатие с помощью «стопки книг».
  16. Кодирование длин серий.
  17. Преобразование Барроуза-Уиллера (BWT).

1. **Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине,** включающий:

**6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.**

*Оценка уровня формирования компетенции ПК‐1*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Индикаторы компетенции | Критерии оценивания (дескрипторы) | Шкала оценивания |
| ***ЗНАТЬ***  *З1(ПК-1) математические модели для описания свойств кодируемой информации:*  *1) источники с конечным числом состояний;*  *2) локальные модели языков сообщений;*  *3) контекстное моделирование.*  *З2(ПК-1) методы и алгоритмы дисциплины «Теория кодирования»:*  *1) алгоритмы экономного кодирования: алгоритмы Хаффмана, Фано, Шеннона, арифметического кодирования;*  *2) словарные методы сжатия Лемпеля- Зива;*  *3) коды Левенштейна для кодирования целых чисел;*  *4) алгоритм равномерного блочного кодирования для вероятностных источников;*  *5) метод кодирования, использующий контекстную модель языка сообщений;*  *6) локально-префиксное кодирование.*  ***УМЕТЬ***  *У1(ПК-1) строить модели, описывающие свойства кодируемой информации, на стандартных примерах;*  *У2(ПК-1) иллюстрировать работу изученных алгоритмов экономного кодирования на примерах.*  ***ВЛАДЕТЬ***  *В1(ПК-1) навыками по моделированию свойств кодируемой информации;*  *В2(ПК-1) изученными методами и алгоритмами экономного кодирования.* | Наличие грубых ошибок в восприятии основного материала, отсутствие знаний, умений и навыков, предусмотренных данной компетенцией. | Низкий уровень формирования компетенции  «Не зачтено» |
| **Знать** основной материал**, Уметь** *У1, У2*  с рядом негрубых ошибок.  **Владеть** пониманием основных стандартных методов и алгоритмов экономного кодирования, навыками по моделированию простейших свойств кодируемой информации. | Удовлетворительный уровень формирования компетенции  «Зачтено» |

**Карта компетенций для оценивания умений и навыков**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Индикаторы  компетенции | Критерии оценивания (дескрипторы) | | | | | | |
| «пло-хо» | «неудов-летвори-тельно» | «удовлетворительно» | «хорошо» | «очень хорошо» | «отлично» | «превосходно» |
| Умения  У1(ПК-1),  У2(ПК­­-1) | Отсут-ствует спосо-бность реше-ния стан-дарт-ных задач | Наличие грубых ошибок при решении стандар-тных задач | Способ-ность решения основных стандарт-ных задач с негрубыми ошибками | Способ-ность решения всех стандарт-ных задач с незначи-тельными погрешно-стями | Способ-ность решения всех стандар-тных задач без ошибок и погреш-ностей | Способ-ность решения стандар-тных и некото-рых нестанда-ртных задач | Способ-ность решения стандарт-ных задач и широкого круга нестанда-ртных задач. |
| Навыки  В1(ПК-1),  В2(ПК-1) | Пол-ное отсутствие навы-ков, предусмо-трен-ных компетенцией. | Отсутс-твие ряда важней-ших навыков, предусмотренных данной компетенцией. | Наличие минималь-но необходи-мого множества навыков | Наличие большинства основных навыков, продемонстрирован-ное в стандарт-ных ситуациях. | Наличие всех основных навыков, продемонстрированных в стандарт-ных ситу-ациях. | Наличие всех навыков, продемонстрирова-нное в стандарт-ных ситу-ациях. | Наличие всех навыков, проде-монстри-рованное в стан-дартных и нестан-дартных ситуаци-ях. |

**6.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

* уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
* уровень понимания студентами изученного материала;
* способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Зачет включает устную и письменную часть. Устная часть зачета заключается в собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть зачета предусматривает решение задач.

|  |  |
| --- | --- |
| **Оценка** | **Уровень подготовки** |
| **Зачтено** | Удовлетворительный уровень подготовки, владение теоретическим материалом, студент стремится применить творческий подход к решению стандартных задач. Студент посещал практические занятия, активно на них работал. |
| **Не зачтено** | Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы на вопросы, не может реагировать на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора. Студент пропустил большую часть практических занятий. |

**6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций**

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**

- индивидуальное собеседование,

- письменные ответы на вопросы.

**Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:**

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающие одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

Критерии оценок выполнения контрольной работы

(каждая задача оценивается в 2 балла)

|  |  |
| --- | --- |
| Решена полностью | 2 |
| Решена основная часть задачи, или задача решена с недочетами | 1,5 |
| Решена задача наполовину | 1 |
| Сделан первый этап в решении задачи | 0,5 |
| Нет решения | 0 |

Суммарная оценка выполнения контрольной работы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Количество баллов | Оценка | Оценка |
| 6 | Отлично | Зачтено |
| 4,25-4,5 | Очень хорошо |
| 3.25-4 | Хорошо |
| 2,25-3,5 | Удовлетворительно |
| 0,5-2,5 | Неудовлетворительно | Не зачтено |
| 0 | Плохо |

**Критерии оценок решения задач**

|  |  |
| --- | --- |
| *Решена полностью и сделан дополнительный анализ* | *«превосходно»* |
| *Решена полностью* | *«отлично»* |
| *Решена основная часть задачи, или задача решена с незначительными недочетами* | *«очень хорошо»* |
| *Решена основная часть задачи, или задача решена с недочетами* | *«очень хорошо»* |
| *Решена задача наполовину* | *«удовлетворительно»* |
| *Сделан первый этап в решении задачи* | *«неудовлетворительно»* |
| *Нет решения* | *«плохо»* |

**6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.**

Пример контрольной работы для оценивания результатов обучения в виде умений У1(ПК1), У2(ПК1) и владений В1(ПК1), В2(ПК1) формирования ПК-1.

**Вариант 1.**

1. Построить источник, генерирующий последовательность символов в алфавите *B =* {*a, b, c, d*} с заданными запрещенными фрагментами {*aa, ab, dc*}.
2. Найти энтропию источника и вероятности появления букв в типичном сообщении.
3. Для распределения вероятностей *P* = (0,3; 0,4; 0,06; 0,08; 0,04; 0,04; 0,04; 0,04) построить оптимальный двоичный префиксный код и найти его стоимость кодирования.
4. 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.
5. Задана локальная модель М = {ε1, ε2, ε3} языка L, где ε1 = {b, d, e}, ε2 = {а, b}, ε3 = {a, c}. По локальной модели М построить:
6. граф антипрефиксности *G*;
7. локально-префиксный код, учитывающий *М*, в котором буква *b* кодируется одним символом.

Пример задач (оценочные средства), выносимых на зачет для оценки компетенции «ПК-1»

**Задача 1.**

Построить источник, генерирующий последовательность символов в алфавите {*a,b,c,d*} с запрещенными фрагментами {*aa,bc,da*}.

**Задача 2.**

Выбрать максимальное по числу элементов подмножество *B* множества *A* с условием, что двоичные представления наименьшей длины чисел из *B* представляют собой

а) префиксный код;

б) однозначно декодируемый код:

.

6.5. **Методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ от 13.02.2014. №55-ОД.

<http://www.unn.ru/pages/general/norm-acts/attest_stud%202014.pdf>

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

**7.Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Лидовский В. В. Теория информации: Учебное пособие. — М.: Компания Спутник+, 2004. — 111 с.

<http://www.mccme.ru/free-books/izdano/2004/it_ebook1.pdf>

1. Штарьков Ю.М. Универсальное кодирование. Теория и алгоритмы [Электронный ресурс] / - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. –ЭБС «Консультант студента»

[http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115179.html](https://mail.rambler.ru/m/redirect?url=http%3A//www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115179.html&hash=36db7f4c7e6ae46bc2d6d217c536c558)

1. Жильцова Л.П., Смирнова Т.Г. Основы теории графов и теории кодирования в примерах и задачах: учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2008. – 64 с. Рег.№ 1437.17.06.

[www.unn.ru/books/resources.html](http://www.unn.ru/books/resources.html)

1. Жильцова Л.П. Современные проблемы теории кодирования. 2007. -80 c.

[www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/6.pdf](http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/6.pdf)

б) дополнительная литература:

1. С.В. Яблонский. Введение в дискретную математику. М.: Высшая школа, 2002, 2003, 2006, 2008. 79 экз.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

<http://compression.ru/download/ti.html#rus>

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ. Наличие рекомендованной литературы.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Автор: доцент кафедры алгебры, геометрии и дискретной математики,

д.ф.-м.н.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Жильцова Л.П.

Рецензент: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой алгебры, геометрии и дискретной математики

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Кузнецов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии Института информационных технологий, математики и механики ННГУ им. Н.И. Лобачевского