

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**ИО директора физтех-школы  
радиотехники и компьютерных  
технологий**

**Д.А. Гаврилов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Современные методы теории кодирования
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра проблем передачи информации и анализа данных
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Зачет

8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Ф.И. Иванов, канд. физ.-мат. наук, преподаватель

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем передачи информации и анализа данных 22.03.2021

## Аннотация

Основной целью курса является объяснение основных идей и результатов теории информации и кодирования. Курс разделен на две части: введение в теорию информации и элементы современной теории кодирования. В первой части рассматриваются мера информации и взаимной информации, энтропия и основные энтропийные неравенства, оценка пропускной способности для однопользовательских и многопользовательских каналов. Во второй части изучаются основы теории кодирования, такие как блочные коды, линейные коды, границы параметров кода и наиболее популярные методы алгебраического кодирования (такие как коды Хэмминга, Рида-Маллера, БЧХ и Рида-Соломона). Затем описываются современные методы кодирования, системы итеративного декодирования и их представления в виде графов. Итерационные методы произвели революцию в теории и практике кодирования и были применены во многих стандартах связи. В заключении обсуждаются коды с малой плотностью проверок на четность (МПП-коды, LDPC codes), фактор-графы и алгоритм “пересылки сообщений” (message passing algorithm) и его модификации.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Освоение студентами современных методов теории кодирования.

### Задачи дисциплины

- фундаментальная подготовка студентов в области современных методов теории кодирования;
- построение у студентов навыков применения современных методов теории кодирования в синтезе и анализе телекоммуникационных сетей и систем;
- оказание консультаций студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований телекоммуникационных сетей и систем.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- основные понятия и утверждения теории информации;
- основные понятия и утверждения теории кодирования;
- современные направления развития теории кодирования.

уметь:

- уметь представлять итеративные системы декодирования в виде графических моделей, реализовать эффективные алгоритмы декодирования;
- уметь анализировать эффективность изученных схем коррекции ошибок;
- практически применять современные методы кодирования и декодирования для решения научно-исследовательских задач в области телекоммуникационных сетей и систем.

владеть:

- навыком освоения большого объема информации;
- современными методами кодовой защиты, применяемым в телекоммуникационных сетях и системах.
- навыками постановки научно-исследовательских задач в области телекоммуникационных сетей и систем.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Дискретные каналы без памяти, каналы множественного доступа	5			3
2	Линейные блочные коды	15			6
3	Элементы турбо-кодов	5			3
4	Коды для распределенных и облачных систем хранения данных	5			3
5	Коды на графах, фактор-графы и алгоритм “сумма-произведение”	15			15
6	Построение МПП-кодов	5			5
7	Сверточные МПП коды	5			5
8	Элементы полярных кодов	5			5
Итого часов		60			45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Дискретные каналы без памяти, каналы множественного доступа

Каналы передачи с шумом, пропускная способность канала, прямая и обратная теоремы Шеннона, канал множественного доступа, широкополосный канал и их пропускные способности.

## 2. Линейные блочные коды

Линейные блочные коды. Коды БЧХ, Рида-Соломона, Рида-Маллера.

## 3. Элементы турбо-кодов

Сверточные коды. Решетка (треллис), алгоритмы декодирования Витерби и BCJR, построение анализ порога декодирования. Понятие параллельного кода, структура турбо-кода, перемежение турбо-кодов, кодирование и декодирование турбо-кодов.

## 4. Коды для распределенных и облачных систем хранения данных

Восстанавливающие коды, коды с локальным восстановлением, коды с локальным восстановлением и несколькими восстанавливающими множествами.

## Семестр: 8 (Весенний)

## 5. Коды на графах, фактор-графы и алгоритм «сумма-произведение»

Коды с малой плотностью проверок (МПП-коды), граф Таннера, графы-расширители и коды на графах расширителях, фактор-граф, алгоритмы декодирования «сумма-произведение» и «минимум-сумма».

## 6. Построение МПП-кодов

Метод эволюции плотностей, EXIT диаграммы, алгоритмы PEG и ACE, МПП коды на основе протографов, квазициклические МПП-коды

## 7. Сверточные МПП коды

Построение и методы декодирования сверточных МПП-кодов. Границы и пороги.

## 8. Элементы полярных кодов

Понятие поляризации, оценки подканалов, построение полярного кода, декодирование полярного кода

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием (проектор или плазменная панель), доской.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. Мак-Вильямс Ф.Дж., Слоэн Н.Дж. Теория кодов, исправляющих ошибки. М.: Связь, 1979.
2. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. М.: Мир, 1976.
3. Richardson T., Urbanke R. Modern Coding Theory. Cambridge, 2008.

### Дополнительная литература

Фонд литературы базовой кафедры (организации):

1. J.H. van Lint. Introduction to Coding Theory. Berlin: Springer-Verlag, 1999.
2. MacKay D.J.C. Information Theory, Inference, and Learning Algorithms. Cambridge University Press, 2003.
3. Richardson T., Urbanke R. Modern Coding Theory. Cambridge, 2008.
4. Cover T.M., Thomas J. A. Elements of Information Theory. New York: Wiley, 1991.
5. Ромащенко А., Румянцев А., Шень А. Заметки по теории кодирования. МЦНМО, 2011.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>, <http://www.dsplib.ru/>  
[http://www.mathworks.com/help/toolbox/comm/ug/comm\\_ug\\_collection.html](http://www.mathworks.com/help/toolbox/comm/ug/comm_ug_collection.html)

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общими понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные понятия и утверждения теории информации и кодирования, основные методы и алгоритмы современной теории кодирования. Успешное освоение курса требует напряженной самостоятельной работы студента. В программе курса отведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам занятий, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенные для самостоятельного изучения, решение задач;
- подготовка к экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов следует обращаться за консультациями к лектору.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра проблем передачи информации и анализа данных
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Зачет

8 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** Ф.И. Иванов, канд. физ.-мат. наук, преподаватель

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Современные методы теории кодирования» обучающийся должен:

### знать:

- основные понятия и утверждения теории информации;
- основные понятия и утверждения теории кодирования;
- современные направления развития теории кодирования.

### уметь:

- уметь представлять итеративные системы декодирования в виде графических моделей, реализовать эффективные алгоритмы декодирования;
- уметь анализировать эффективность изученных схем коррекции ошибок;
- практически применять современные методы кодирования и декодирования для решения научно-исследовательских задач в области телекоммуникационных сетей и систем.

### владеть:

- навыком освоения большого объема информации;
- современными методами кодовой защиты, применяемым в телекоммуникационных сетях и системах.
- навыками постановки научно-исследовательских задач в области телекоммуникационных сетей и систем.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится короткий (10-15 минут) опрос по материалу прошедших занятий в устной или письменной форме.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Перечень контрольных вопросов к экзамену:

1. Каналы передачи с шумом, пропускная способность канала, прямая и обратная теоремы Шеннона.
2. Канал множественного доступа, широкополосный канал и их пропускные способности.
3. МПП-Коды, граф Таннера, графы-расширители и коды на графах расширителях.
4. Фактор-граф, алгоритмы декодирования «сумма-произведение» и «минимум-сумма».
5. Метод эволюции плотностей, EXIT диаграммы, алгоритмы PEG и ACE.
6. Понятие сверточного кода, решетка (треллис), алгоритм декодирования Витерби.
7. Понятие поляризации, оценки подканалов, построение полярного кода, декодирование полярного кода.
8. Понятие параллельного кода, структура турбо-кода, перемежение турбо-кодов, кодирование и декодирование турбо-кодов.
9. Восстанавливающие коды, коды с локальным восстановлением, коды с локальным восстановлением и несколькими восстанавливающими множествами.
10. Алгоритм Гурусвами-Судана списочного декодирования кодов Рида-Соломона.

Примеры билетов для проведения экзамена:

Билет 1.

1. Каналы передачи с шумом, пропускная способность канала, прямая и обратная теоремы Шеннона
2. Алгоритм Гурусвами-Судана списочного декодирования кодов Рида-Соломона

Билет 2.

1. Канал множественного доступа, широкополосный канал и их пропускные способности
2. Восстанавливающие коды, коды с локальным восстановлением, коды с локальным восстановлением и несколькими восстанавливающими множествами.

#### **Критерии оценивания**

Для зачета:

"Зачтено" - выставляется студенту, показавшему владение основными положениями курса, умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

"Не зачтено" - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

Критерии оценивания для экзамена и текущего контроля:

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.



Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Зачет выставляется по результатам текущего контроля.

Экзамен проводится в устной форме.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется не менее 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.