

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
прикладной математики и  
информатики**

**А.М. Райгородский**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Цифровая обработка сигналов
<b>по направлению:</b>	Прикладная математика и информатика
<b>профиль подготовки:</b>	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра машинного обучения и цифровой гуманитаристики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 1

Программу составил: Р.Г. Нейчев, старший преподаватель

Программа обсуждена на заседании кафедры машинного обучения и цифровой гуманитаристики 04.02.2025

## Аннотация

Целью курса является изучение теоретических основ цифровой обработки сигналов (DSP). Темы курса включают разделы, связанные с цифровым спектральным анализом, цифровой фильтрацией, многоскоростной обработкой сигналов. В ходе курса студенты знакомятся с особенностями цифрового спектрального анализа (эффекты окон, распространения и суперпозиции), эффективным алгоритмом вычисления дискретного преобразования Фурье - fast Fourier transform, цифровым спектральным анализом случайных последовательностей, цифровыми фильтрами с конечной и бесконечной импульсной характеристикой, основами многоскоростной фильтрации используя прореживание и интерполяцию. Аудиторные задания по курсу проводятся в форме лекций, направленных на изучение теоретического материала и решение практических задач.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- овладение студентами знаний основ цифровой обработки сигналов и применимости их в современных задачах.

### Задачи дисциплины

- приобретение студентами понимания о методах цифровой обработки сигналов, психоакустики и других математических методов обработки сигналов, применении этих методов для представления сигналов в дискретной форме, а также применения этих представлений.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	УК-3.1 Организует и координирует работу участников проекта, способствует конструктивному преодолению возникающих разногласий и конфликтов
	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
	УК-3.3 Способен предвидеть результаты (последствия) как личных, так и коллективных действий
	УК-3.4 Способен планировать командную работу, распределять поручения членам команды, организовать обсуждение разных идей и мнений
ОПК-2 Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии математических исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценить актуальность и практическую значимость прикладных математических исследований в своей профессиональной области
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-5 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области информатики и вычислительной техники,	ОПК-5.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.2 Способен оценивать актуальность исследований в области информатики и вычислительной техники и их практическую значимость

способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-5.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-6 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области информатики и вычислительной техники, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-6.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-6.2 Способен разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем
	ОПК-6.3 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания из различных областей науки (техники)
	ОПК-6.4 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
	ОПК-6.5 Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности современный математический аппарат и алгоритмы, основные законы естествознания, современные языки программирования и программное обеспечение; операционные системы и сетевые технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий; владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Имеет практический опыт использования существующих методов и алгоритмов решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического разыскания и описания, опыт работы с научными источниками
	ПК-2.3 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные понятия и определения теории цифровой обработки сигналов;
- типы цифровых фильтров;
- методы цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразований;
- методы работы с многоканальными сигналами;
- области применения методов представления в машинном обучении.

уметь:

- использовать приобретенный математический аппарат для получения необходимых представлений сигнала;
- обосновывать выбор тех или иных параметров цифрового представления сигнала;
- обосновывать выбор конкретных представлений, фильтров и методов обработки сигнала;
- разрабатывать и применять необходимые методы представлений сигналов.

владеть:

- навыками использования математических методов;
- навыками разработки и применения тех или иных представлений.

#### 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	Цифровая обработка сигналов.	6	6		6
2	Психоакустика, кодирование речи и аудио	6	6		6
3	Бимформинг и компрессия	6	6		6
4	Метрики и архитектуры	6	6		6
5	Основные архитектуры нейронных сетей для обработки аудио	6	6		6
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

###### Семестр: 2 (Весенний)

###### 1. Цифровая обработка сигналов.

- o Основы представления сигналов
- o Дискретные фильтры
- o Цифровые фильтры
- o Оконные функции
- o Преобразование Фурье и быстрое преобразование Фурье

###### 2. Психоакустика, кодирование речи и аудио

- o Критические полосы
- o Барк-спектр
- o Громкость, кривые Флетчера-Мэнсона
- o Абсолютный порог слышимости
- o Временное и частотное маскирование
- o Пространственное восприятие
- Кодирование аудио
- o Lossless и lossy кодирование
- o Психоакустические модели (MPEG, Dolby)
- o Перцептуальное кодирование
- o Частота дискретизации, глубина кодирования, битрейт, контейнеры (WAV, MP3, FLAC)

###### 3. Бимформинг и компрессия

- o DAS бимформер
- o MVDR

- o GEV
- o Алгоритмы локализации источника: GCC-PHAT, SRP-PHAT
- Компрессия
- o Принципы работы компрессора
- o Адаптивная регулировка усиления/громкости
- Метрики
- o SNR;
- o SDR, SI-SDR;
- o BSD, mBSD;
- o MOS;
- o PESQ;

#### 4. Метрики и архитектуры

- o SNR;
- o SDR, SI-SDR;
- o BSD, mBSD;
- o MOS;
- o PESQ;

#### 5. Основные архитектуры нейронных сетей для обработки аудио

- o VoiceFilter;
- o TasNet;
- o ConvTasNet.
- o SpeakerBeam;
- o Conformer, Sepformer.

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

Необходимое оборудование для практических занятий:

- Проектор
- Маркерная доска
- Рабочие станции с установленными приложениями для работы с python ( $\geq 3.7$ ) (scipy, numpy, matplotlib, ).

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

Литература предоставляется на кафедре

1. Романюк Ю.А. Основы цифровой обработки сигналов. Учебное пособие. Часть 1. Издание второе, переработанное. М. 2007г.
2. Романюк Ю.А. Дискретное преобразование Фурье в цифровом спектральном анализе. Учебное пособие. М. 2007г.
3. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. Техносфера. Москва 2012
4. Богнер Р., Константи́нидис А. Введение в цифровую фильтрацию / Пер. с англ.; Под ред. Л.И. Филиппова. М.: Мир, 1976
5. Steven W. Smith. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, 1997

#### Дополнительная литература

Литература предоставляется на кафедре

1. VoiceFilter: Targeted Voice Separation by Speaker-Conditioned Spectrogram Masking <https://arxiv.org/pdf/1810.04826.pdf>
2. TASNET: TIME-DOMAIN AUDIO SEPARATION NETWORK FOR REAL-TIME, SINGLE-CHANNEL SPEECH SEPARATION <https://arxiv.org/pdf/1711.00541v2.pdf>
3. IMPROVING SPEAKER DISCRIMINATION OF TARGET SPEECH EXTRACTION WITH TIME-DOMAIN SPEAKERBEAM <https://arxiv.org/pdf/2001.08378.pdf>
4. Conv-TasNet: Surpassing Ideal Time-Frequency Magnitude Masking for Speech Separation <https://arxiv.org/pdf/1809.07454.pdf>
5. ATTENTION IS ALL YOU NEED IN SPEECH SEPARATION <https://arxiv.org/pdf/2010.13154.pdf>
6. Conformer: Convolution-augmented Transformer for Speech Recognition <https://arxiv.org/pdf/2005.08100.pdf>

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

не требуется

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

Чтобы ускорить освоение курса, студентам желательно ознакомиться (не менее пяти часов) с общепризнанными основами MS Project у участника его разработки Владимира Иванова (образовательная программа). Windows 10, Skype, Zoom Office 2016: PowerPoint, MSProject

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

Успешное прохождение курса требует интенсивной самостоятельной работы студента. Программа курса предусматривает необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- решение заданий для текущего контроля,
- использование изученных программных средств для решения предложенных тестовых заданий и самостоятельно поставленных исследований,
- отработка учебного материала, подготовка ответов на вопросы, предназначенные для самостоятельного изучения,
- подготовка к тестированию.

Руководство и контроль самостоятельной работы студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно получить представление об изучаемом материале, а не заучивать его механически. Если вам трудно изучать определенные темы, вопросы, вам следует проконсультироваться.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

<b>по направлению:</b>	Прикладная математика и информатика
<b>профиль подготовки:</b>	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра машинного обучения и цифровой гуманитаристики
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	Р.Г. Нейчев, старший преподаватель

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	УК-3.1 Организует и координирует работу участников проекта, способствует конструктивному преодолению возникающих разногласий и конфликтов
	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
	УК-3.3 Способен предвидеть результаты (последствия) как личных, так и коллективных действий
	УК-3.4 Способен планировать командную работу, распределять поручения членам команды, организовать обсуждение разных идей и мнений
ОПК-2 Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии математических исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценить актуальность и практическую значимость прикладных математических исследований в своей профессиональной области
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-5 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области информатики и вычислительной техники, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-5.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.2 Способен оценивать актуальность исследований в области информатики и вычислительной техники и их практическую значимость
	ОПК-5.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-6 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области информатики и вычислительной техники, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-6.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-6.2 Способен разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем
	ОПК-6.3 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания из различных областей науки (техники)
	ОПК-6.4 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
	ОПК-6.5 Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте



ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности современный математический аппарат и алгоритмы, основные законы естествознания, современные языки программирования и программное обеспечение; операционные системы и сетевые технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Имеет практически опыт использования существующих методов и алгоритмов решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического разыскания и описания, опыт работы с научными источниками
	ПК-2.3 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Цифровая обработка сигналов» обучающийся должен:

### знать:

- основные понятия и определения теории цифровой обработки сигналов;
- типы цифровых фильтров;
- методы цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразований;
- методы работы с многоканальными сигналами;
- области применения методов представления в машинном обучении.

### уметь:

- использовать приобретенный математический аппарат для получения необходимых представлений сигнала;
- обосновывать выбор тех или иных параметров цифрового представления сигнала;
- обосновывать выбор конкретных представлений, фильтров и методов обработки сигнала;
- разрабатывать и применять необходимые методы представлений сигналов.

### владеть:

- навыками использования математических методов;
- навыками разработки и применения тех или иных представлений.

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

Примеры заданий на одну/две недели:

- 1) Фильтрация
  - a. Установить пакет `scipy`
  - b. Дан сигнал с частотами  $[7, 10, 20]$ , последняя частота – помеха. С помощью `scipy.signal` имплементировать анти-алиазинговый фильтр, вырезающий данную частоту.
  - c. Объяснить, почему выбранный метод - правильный, пояснить с помощью неправильной имплементации

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

1. Основы представления сигналов
2. Дискретные фильтры
3. Цифровые фильтры
4. Функции окна
5. Преобразование Фурье и быстрое преобразование Фурье
- 7 Импульсно-кодовая модуляция
- 8 Sinc-предварительная коррекция, сглаживание;

9 Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция;

10 Дельта-модуляция, сигма-дельта-модуляция, адаптивная дельта-модуляция

#### Критерии оценивания

- оценка «отлично (10)» 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 (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений
- оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, и правильное обоснование принятых решений
- оценка «хорошо (7)» 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 (6)» выставляется студенту, если он 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 знает материал, и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- 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 владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет фрагментарно основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «неудовлетворительно (2)» 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
- оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает формулировок основных понятий дисциплины

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

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 20 мин на подготовку. В рамках дифференцированного зачета студент должен дать развернутый ответ на один из вопросов для аттестации. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа. Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться материалами занятий.