МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

«Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО
президиумом Ученого совета ННГУ
протокол от
«30» ноября 2022 г. № 13

**Рабочая программа дисциплины**

# Технологии обработки речи

Уровень высшего образования
**магистратура**

Направление подготовки (специальность)
**020402 Фундаментальная информатика и информационные технологии**

Направленность образовательной программы
**Искусственный интеллект**

Форма обучения
**очная**

Нижний Новгород
2023

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина ФТД.02 «Технологии обработки речи» относится к факультативным дисциплинам направления подготовки 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», направленность «Искусственный интеллект». Дисциплина преподается в 3 семестре.

| № Вари-анта | Место дисциплины в учебном плане образовательной программы | Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД |
|---|---|---|
| 1 | ФТД. Факультативы | Дисциплина ФТД.02 «Технологии обработки речи» является факультативом в ООП направления подготовки 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии |

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

| **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**** | |
| ОПК-3. Способен проводить анализ математических моделей, создавать инновационные методы решения прикладных задач профессиональной деятельности в области информатики и математического моделирования | ОПК-3.1. Знает методы теории алгоритмов, методы системного и прикладного программирования, основные положения и концепции в области математических, информационных и имитационных моделей. | **Знать** теоретические основы методов и алгоритмов технологий обработки речи и их особенности в системах искусственного интеллекта (ИИ) | собеседование или доклад на семинаре |
| | ОПК-3.2. Умеет соотносить знания в области программирования, интерпретацию прочитанного, определять и создавать информационные ресурсы глобальных сетей, образовательного контента, средств тестирования систем | **Уметь** решать задачи подготовки исходных данных в виде аудиозаписей с заданными свойствами, выбирать алгоритмы обработки речи для решения конкретных задач и анализировать результаты методами технологий обработки речи. | доклад на семинаре, решение семинарских и домашних задач |

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Трудоемкость дисциплины

| | |
|---|---|
| **Общая трудоемкость** | **1 ЗЕТ** |
| **Часов по учебному плану** | **36** |
| **в том числе:** | |
| **аудиторные занятия (контактная работа):** | 33 |
| **- занятия лекционного типа** | 32 |
| **- занятия семинарского типа** | |
| **- занятия лабораторного типа** | |
| **- текущий контроль (КСР)** | 1 |
| **самостоятельная работа** | 3 |
| **Промежуточная аттестация** | **зачет** |

### 3.2 Содержание дисциплины

| № п/п | Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Часов | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | В том числе | | | | | | |
| | | Всего | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
| | | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Лабораторные работы | Консультации | Всего | |
| *1* | **Введение в речевые технологии**. История синтеза и распознавания. Какие существуют задачи в речевых технологиях. Как человек воспринимает звук. Сравнение с компьютерным зрением и обработкой естественных языков. | 2 | 2 | | | | 2 | 0 |
| *2* | **Цифровая обработка сигналов**. Как звук дискретизируется для компьютеров. Характеристики аудиосигналов. Представления для работы со звуком. Дискретное преобразование Фурье. Спектрограмма, мелспектрограмма, мелкепстральные коэффициенты. Восстановление аудиосигнала из спектрограммы: алгоритм Гриффина-Лима. | 2 | 21 | | | | 2 | 0 |
| *3* | **Введение в распознавание речи**. Обсуждение задачи распознавания. Сравнение различных представлений текста в качестве единиц речи. Проблема выравнивания единиц речи и акустических признаков: State-space models, Attention mechanism. Дискриминативная и генеративная постановки задачи распознавания. Метрики качества распознавания. Word error | 4 | 4 | | | | 4 | 1 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | rate(WER). Расстояние Левенштейна и алгоритм Левенштейна. | | | | | | | |
| ***4*** | **State-space модели распознавания речи**. Inference и train треллисы. Жадное декодирование. Connectionist Temporal Classification (CTC) model. Неоднозначность отображения речевых единиц в текст. Необходимость специального “бланк”-символа. Треллисы с “бланк”-символом. Представление вероятности последовательности единиц речи. Функция потерь. Forward algorithm, backward algorithm, forward-backward algorithm. Мягкое выравнивание. | 2 | 2 | | | | 2 | 0 |
| ***5*** | **Контекстное моделирование при помощи языковых моделей**. Проблемы жадного декодирования. Языковые модели, оценки качества - perplexity. N-gram, нейросетевое языковое моделирование. Beam Search decoding. Схема и алгоритм для CTC модели. Интеграция языковых моделей в префиксное декодирование. | 2 | 2 | | | | 2 | 0 |
| ***6*** | **Системы распознавания речи, основанные на механизмах внимания**. Обусловливание языковых моделей на акустические признаки. Авторегрессионные энкодер-декодер модели с механизмом внимания. Схема. Декодер, его цели, схема, возможные реализации. Энкодер, его цели, схема, возможные реализации. Механизм внимания. Обучение и предсказание, функция потерь. Возможные проблемы такого моделирования и пути их решения. | 4 | 4 | | | | 4 | 0 |
| ***7*** | **Последние разработки в ASR**. Masked Language Modelling. Semi-supervised learning. Noisy-Student training и Wav2Vec. Распознавание речи из аудиосигнала без промежуточного представления в виде спектрограммы или мелспектрограммы, путем скрытого представления модели. | 2 | 2 | | | | 2 | 0 |
| ***8*** | **Введение в синтез речи**. Обсуждение задачи. Проблемы неопределенности “правильности” синтеза. Метрики качества (MOS, CrowdMOS, MUSHRA, SER, SBS, Robotness). Схема синтеза. Препроцессинг текста. Генерация аудио. Конкатенативные подходы: дифонный синтез и Unit selection. Параметрический синтез. Семинар с реализацией дифонного синтеза. | 4 | 4 | | | | 4 | 1 |
| ***9*** | **Вокодеры**. Цели вокодеров. Авторегрессионные модели. WaveNet - нейросетевой вокодер. Схема, блоки сети. Mu-law embedding. Обусловливание на акустические признаки. Обучение и предсказание. Masked Autoregressive Flow (MAF). Вариационные автокодировщики. Semi-supervised training. Grokking. | 4 | 4 | | | | 4 | 0 |
| ***10*** | **Акустические модели**. Скрытые марковские модели. Полносвязные сети. Рекуррентные сети. RNN with frame- and phoneme-wise subnetworks (upsampling models). Attention based сети: Char2Wav, Tacotron. Проблемы расходимости attention. Способы решения. Local-sensitive attention. Tacotron2. Upsampling + Attention: Fast Pitch, Fast Speech. Soft upsampling. Локальный attention. | 4 | 4 | | | | 4 | 1 |
| ***11*** | **Возможности акустических моделей**. Какие типы информации содержатся в речи. Просодия. | 2 | 2 | | | | 2 | 0 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Моделирование просодии: вариационные автокодировщики, style tokens. Multi-speaker, multi-language синтез. Использование верификационных ASR моделей. Reversal gradient. | | | | | | | |
| | Текущий контроль | 1 | | | | | | |
| | Промежуточная аттестация: зачет | | | | | | | |
| | Итого | 33 | 32 | | | | 33 | 3 |

Практические занятия (семинарские занятия) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных семинарских и домашних работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий (семинарских и домашних работ) в форме практической подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ООП: Разработка, тестирование, оптимизация программного обеспечения (ПО).
- компетенций – ОПК-3: «Способен проводить анализ математических моделей, создавать инновационные методы решения прикладных задач профессиональной деятельности в области информатики и математического моделирования» на примере современных технологий обработки речи, в том числе с применением искусственного интеллекта.

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов на занятиях лабораторного типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (зачет).

## 3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

### A. Виды самостоятельной работы студентов

В качестве самостоятельной работы студенты выполняют задания семинарских и домашних работ, которые реализуют различные методы из курса технологий обработки речи:

I) Семинарские работы (по 10 баллов):

a) 1-й семинар - знакомство со звуком, преобразование аудиосигнала до мелспектрограммы и обратно к аудиосигналу
b) 2-й семинар - алгоритм Левенштейна, расстояние Левенштейна, визуализация преобразований из одного текста в другой.
c) 3-й семинар - CTC forward-backward алгоритм, мягкое выравнивание, жадное декодирование.
d) 4-й семинар - вариационный автокодировщик, доказательство формул функции потерь.

e) 5-й семинар - local sensetive attention для tacotron2, в результате получаем готовую систему синтеза речи.

II) Большие домашние работы (по 20 баллов):

a) Домашняя работа 1 - классификация цифр (Audio-mnist) с использованием нейронных сетей.
b) Домашняя работа 2 - сравнение различных архитектур CTC моделей (DNN, RNN, BiRNN), в результате получаем готовую систему распознавания речи.

**B. Образовательные материалы для самостоятельной работы студентов**


1) Тампель И.Б., Карпов А.А. Автоматическое Распознавание Речи. Учебное пособие. − СПб: Университет ИТМО, 2016. – 138 с. (https://books.ifmo.ru/file/pdf/1921.pdf)
2) Кипяткова И.С., Ронжин А.Л., Карпов А.А., “Автоматическая обработка разговорной русской речи”. – СПб.: ГУАП, 2013. – 314 с.
3) Карпов А.А., “Реализация автоматической системы многомодального распознавания речи по аудио- и видеоинформации” // Автоматика и телемеханика. 2014, Т. 75, № 12, С. 125-138.
4) Schwarz P., "Phoneme recognition based on long temporal context", Ph.D. thesis, Brno University of Technology, 2008. http://www.fit.vutbr.cz/~schwarzp/publi/thesis.pdf
5) Холоденко А.Б., “О построении статистических языковых моделей для систем распознавания русской речи” // Интеллектуальные системы, 2002. Т.6. Вып. 1-4. С. 381-394.
6) Made in Future: Речевые технологии для создания новых ценностей в бизнесе/ Группа компаний ЦРТ. 2022 (https://www.speechpro.ru/media/news/made-in-future-rechevye-tehnologii-dlya-sozdaniya-novyh-cennostej-v-biznese)


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

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

| **Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)** | **Шкала оценивания сформированности компетенций** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **плохо** | **неудовлетворительно** | **удовлетворительно** | **хорошо** | **очень хорошо** | **отлично** | **превосходно** |
| | не зачтено | | зачтено | | | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Знания | Отсутствие знаний теоретичес-кого 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 ошибки. | 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, без ошибок. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| Умения | 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 несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. | Продемонстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| Навыки | Отсутствие владения материалом . 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 некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми 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 оценки при промежуточной аттестации

| **Оценка (баллы)** | | **Уровень подготовки** |
|---|---|---|
| | Превосходно<br><br>(60 и более) | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно» |

| | | |
|---|---|---|
| зачтено<br>(20 и более) | Отлично<br>(50) | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» |
| | Очень хорошо<br>(45) | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» |
| | Хорошо<br>(40) | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» |
| | Удовлетворительно<br>(20-30) | 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<br>(< 20) | Неудовлетворитель-но<br>(10) | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» |
| | Плохо (0) | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1 Контрольные вопросы

| **Вопросы** | **Код формируемой компетенции** |
|---|---|
| **1.Введение в речевые технологии**. История синтеза и распознавания. Какие существуют задачи в речевых технологиях. Как человек воспринимает звук. Сравнение с компьютерным зрением и обработкой естественных языков.<br>**Цифровая обработка сигналов**. Как звук дискрети-зируется для компьютеров. Характеристики аудиосигналов. Представления для работы со звуком. Дискретное преобразование Фурье. Спектрограмма, мелспектрограмма, мелкепстраль-ные коэффициенты. Восстановление аудиосигнала из спектрограммы: алгоритм Гриффина-Лима. | ОПК-3.1 |
| **2.Введение в распознавание речи**. Обсуждение задачи распознавания. Сравнение различных представлений текста в качестве единиц речи. Проблема выравнивания единиц речи и акустических признаков: State-space models, Attention mechanism. Дискриминативная и генеративная постановки задачи распознавания. Метрики качества распознавания. Word error rate(WER). Расстояние Левенштейна и алгоритм Левенштейна. | ОПК-3.1 |

| | |
|---|---|
| **3.State-space модели распознавания речи**. Inference и train треллисы. Жадное декодирование. Connectionist Temporal Classification (CTC) model. Неоднозначность отображения речевых единиц в текст. Необходимость специального “бланк”-символа. Треллисы с “бланк”-символом. Представление вероятности последовательности единиц речи. Функция потерь. Forward algorithm, backward algorithm, forward-backward algorithm. Мягкое выравнивание. | ОПК-3.1 |
| **4.Контекстное моделирование при помощи языковых моделей**. Проблемы жадного декодирования. Языковые модели, оценки качества - perplexity. N-gram, нейросетевое языковое моделирование. Beam Search decoding. Схема и алгоритм для CTC модели. Интеграция языковых моделей в префиксное декодирование. | ОПК-3.1 |
| **5.Системы распознавания речи, основанные на механизмах внимания**. Обусловливание языковых моделей на акустические признаки. Авторегрессионные энкодер-декодер модели с механизмом внимания. Схема. Декодер, его цели, схема, | ОПК-3.1 |
| возможные реализации. Энкодер, его цели, схема, возможные реализации. Механизм внимания. Обучение и предсказание, функция потерь. Возможные проблемы такого моделирования и пути их решения. | |
| **6.Последние разработки в ASR**. Masked Language Modelling. Semi-supervised learning. Noisy-Student training и Wav2Vec. Распознавание речи из аудиосигнала без промежуточного представления в виде спектрограммы или мелспектрограммы, путем скрытого представления модели. | ОПК-3.1 |
| **7.Введение в синтез речи**. Обсуждение задачи. Проблемы неопределенности “правильности” синтеза. Метрики качества (MOS, CrowdMOS, MUSHRA, SER, SBS, Robotness). Схема синтеза. Препроцессинг текста. Генерация аудио. Конкатенативные подходы: дифонный синтез и Unit selection. Параметрический синтез. Семинар с реализацией дифонного синтеза. | ОПК-3.1 |
| **8.Вокодеры**. Цели вокодеров. Авторегрессионные модели. WaveNet - нейросетевой вокодер. Схема, блоки сети. Mu-law embedding. Обусловливание на акустические признаки. Обучение и предсказание. Masked Autoregressive Flow (MAF). Вариационные автокодировщики. Semi-supervised training. Grokking. | ОПК-3.1 |
| **9.Акустические модели**. Скрытые марковские модели. Полносвязные сети. Рекуррентные сети. RNN with frame- and phoneme-wise subnetworks (upsampling models). Attention based сети: Char2Wav, Tacotron. Проблемы расходимости attention. Способы решения. Local-sensitive attention. Tacotron2. Upsampling + Attention: Fast Pitch, Fast Speech. Soft upsampling. Локальный attention. | ОПК-3.1 |
| **10.Возможности акустических моделей**. Какие типы информации содержатся в речи. Просодия. Моделирование просодии: вариационные автокодировщики, style tokens. Multi-speaker, multi-language синтез. Использование верификационных ASR моделей. Reversal gradient. | ОПК-3.1 |

### 5.2.2 Задачи (семинарские и домашние работы) для контроля компетенции ОПК-3 в целом

| Задача/Задание | Баллов | Комп-я |
|---|---|---|
| I. Семинарские работы (с выступлением на семинаре): | | |
| a) 1-й семинар - знакомство со звуком, преобразование аудиосигнала до мелспектрограммы и обратно к аудиосигналу. | 10 | ОПК-3.1<br>ОПК-3.2 |
| b) 2-й семинар - алгоритм Левенштейна, расстояние Левенштейна, визуализация преобразований из одного текста в другой. | 10 | ОПК-3.1<br>ОПК-3.2 |
| c) 3-й семинар - CTC forward-backward алгоритм, мягкое выравнивание, жадное декодирование. | 10 | ОПК-3.1<br>ОПК-3.2 |
| d) 4-й семинар - вариационный автокодировщик, доказательство формул функции потерь. | 10 | ОПК-3.1<br>ОПК-3.2 |
| e) 5-й семинар - local sensetive attention для tacotron2, в результате получаем готовую систему синтеза речи. | 10 | ОПК-3.1<br>ОПК-3.2 |
| II. Большие домашние работы: | | |

| | | |
|---|---|---|
| a) Домашняя работа 1 - классификация цифр (Audio-mnist) с использованием нейронных сетей. | 20 | ОПК-3.2 |
| b) Домашняя работа 2 - сравнение различных архитектур CTC моделей (DNN, RNN, BiRNN), в результате получаем готовую систему распознавания речи. | 20 | ОПК-3.2 |

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

1) основная литература:

1. Тампель И.Б., Карпов А.А. Автоматическое Распознавание Речи. Учебное пособие. − СПб: Университет ИТМО, 2016. – 138 с. (https://books.ifmo.ru/file/pdf/1921.pdf)
2. Кипяткова И.С., Ронжин А.Л., Карпов А.А., “Автоматическая обработка разговорной русской речи”. – СПб.: ГУАП, 2013. – 314 с.

2) дополнительная литература:

1. Карпов А.А., “Реализация автоматической системы многомодального распознавания речи по аудио- и видеоинформации” // Автоматика и телемеханика. 2014, Т. 75, № 12, С. 125-138.
2. Schwarz P., "Phoneme recognition based on long temporal context", Ph.D. thesis, Brno University of Technology, 2008. http://www.fit.vutbr.cz/~schwarzp/publi/thesis.pdf
3. Холоденко А.Б., “О построении статистических языковых моделей для систем распознавания русской речи” // Интеллектуальные системы, 2002. Т.6. Вып. 1-4. С. 381-394.

3) Интернет-ресурсы:

1. Made in Future: Речевые технологии для создания новых ценностей в бизнесе/ Группа компаний ЦРТ. 2022 (https://www.speechpro.ru/media/news/made-in-future-rechevye-tehnologii-dlya-sozdaniya-novyh-cennostej-v-biznese)
2. Технологии распознавания речи в здравоохранении. Проект (https://tele-med.ai/proekty/tehnologii-raspoznavaniya-rechi-v-zdravoohranenii)
3. Нестор.BRIEF. Система протоколирования совещаний. Проект (https://www.speechpro.ru/product/sistemy-audio-i-videoprotokolirovaniya/nestor)

4) Программное обеспечение:

1. MS Windows установленная на компьютере обучающегося
2. MS Visual Studio Community 2017 – бесплатная версия.
3. Установка языка Python [http://www.python.org/ ].
4. Библиотека автоматизации GUI тестирования pywinauto [http://pywinauto.github.io/]
5. ПО визуализации фильтров и выходов слоев в Caffe [http://nbviewer.jupyter.org/github/BVLC/caffe/blob/master/examples/00-classification.ipynb].
6. ПО визуализации фильтров и выходов слоев в Torch [https://github.com/facebook/iTorch].

**7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Имеются в наличии 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». Учебная и научная литература, учебно-методические материалы, представленные в библиотечном фонде, в электронных библиотеках и на кафедре математического обеспечения и суперкомпьютерных технологий.

При занятиях в компьютерном классе установлены: операционная система Windows (лицензия по подписке Microsoft Imagine), Microsoft Visual Studio 2013 (лицензия по подписке Microsoft Imagine), библиотека OpenCV (open source, http://opencv.org/).

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО ННГУ с учетом рекомендаций ФГОС ВО по направлению 02.04.02. – Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор: д.т.н., проф. В.Е. Турлапов,

Зам. зав. кафедрой МОСТ И.Б.Мееров

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.