

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского»

Радиофизический факультет  
(факультет / институт / филиал)

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

**Рабочая программа дисциплины**

Цифровая обработка сигналов  
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность  
03.04.03 Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность программы  
Информационные процессы и системы

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения  
очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород  
2023 год

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 «Цифровая обработка сигналов» относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 Радиофизика, формируемой участниками образовательных отношений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), 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	
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности	ПК-1.1. Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач.	<b>Знать:</b> методы критического анализа и оценки современных научных достижений в области своей профессиональной деятельности <b>Уметь:</b> определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности <b>Владеть:</b> навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований	Собеседование
	ПК-1.2. Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий.	<b>Знать:</b> современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных <b>Уметь:</b> систематизировать и анализировать данные большого объема <b>Владеть:</b> навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников	Собеседование
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-	ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений	<b>Знать:</b> современное состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности <b>Уметь:</b> анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики <b>Владеть:</b> навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики	Собеседование

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	
конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты	и оценке полученных результатов.		
	ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.	<b>Знать:</b> современные подходы к моделированию различных явлений <b>Уметь:</b> выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования <b>Владеть:</b> навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи	Собеседование
	ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР.	<b>Знать:</b> основные принципы организации научного исследования <b>Уметь:</b> анализировать процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах <b>Владеть:</b> навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов	Собеседование
	ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.	<b>Знать:</b> современные подходы к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности <b>Уметь:</b> анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики <b>Владеть:</b> навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи	Собеседование
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	ПК-3.1. Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.	<b>Знать:</b> основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации <b>Уметь:</b> применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях <b>Владеть:</b> навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций	Собеседование
	ПК-3.2. Представляет	<b>Знать:</b> основные способы представления и продвижения результатов НИР	Собеседование

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	
	результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.	<b>Уметь:</b> структурировать презентационный материал, выделять основные результаты деятельности для их представления и расставлять акценты <b>Владеть:</b> навыками представления результатов НИР перед научным и академическим сообществом	
	ПК-3.3. Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.	<b>Знать:</b> основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР <b>Уметь:</b> анализировать проектную документацию на выполнение НИР <b>Владеть:</b> навыками составления части проектной документации для проведения НИР	Собеседование

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1.Трудовоемкость дисциплины

1 семестр	очная форма обучения
Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
самостоятельная работа	39
КСР	1
Промежуточная аттестация – зачет	-

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание 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	Занятия лабораторного типа	Всего	
	очная	очная	очная	очная	очная	очная
<b>Тема 1.</b> Дискретные сигналы и системы	17	8			8	9
<b>Тема 2.</b> Z-преобразование	18	8			8	10
<b>Тема 3.</b> Дискретное преобразование Фурье (ДПФ).	18	8			8	10
<b>Тема 4.</b> Анализ и проектирование цифровых фильтров (ЦФ).	18	8			8	10
Аттестация	0					
КСР	1				1	
Итого	72	32	0	0	33	39

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает: решение практических заданий и задач, организация семинаров по отдельным разделам дисциплины.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

- изучение, анализ научно-технической информации, обобщение отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;

- аналитическое и численное исследование физических явлений и процессов радиофизическими методами;

- разработка новых комплексов программ по численному моделированию объектов различной физической природы;

- планирование и проведение экспериментов с применением современных методов и измерительной аппаратуры (акустической, радиоэлектронной, оптоэлектронной);

- формулировка новых задач, возникающих в ходе научных исследований;

- совершенствование известных и разработка новых методов исследований;

- анализ получаемых результатов и, при необходимости, корректировка направлений исследований;

- подготовка и оформление научных статей;

- составление отчетов и докладов о научно-исследовательской работе;

- участие в научных конференциях, в том числе международных

- руководство научной работой обучающихся

- компетенций – ПК-1, ПК-2, ПК-3.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся обеспечена учебными пособиями и методическими разработками для лабораторных работ. Учебно-методические разработки содержат необходимый для контроля освоения дисциплины перечень вопросов, по ответам на которые производится контроль приобретённых знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине - зачет.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

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				
<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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	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.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	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	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки 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», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	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	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	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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

##### 5.2.1. Контрольные вопросы Вопросы к зачету

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. Дискретные сигналы (последовательности) и их представление. Синусоиды дискретного времени и их особенности в сравнении с синусоидами непрерывного времени.	ПК-1
2. Дискретные линейные системы с постоянными параметрами (ДЛПП-системы) и их описание: <ul style="list-style-type: none"> <li>- во временной области (импульсная характеристика);</li> <li>- на основе линейных разностных уравнений (РУ); пример решения РУ;</li> <li>- в частотной области (частотная характеристика);</li> <li>- в комплексной z-плоскости (передаточная характеристика).</li> </ul> Связь различных характеристик ДЛПП-системы между собой и примеры их вычисления.	ПК-1
3. Дискретно-временная свертка, ее свойства. Пример вычисления свертки.	ПК-1
4. Устойчивость и физическая реализуемость ДЛПП-системы.	ПК-1
5. Представление дискретных сигналов в частотной области. Дискретное во времени преобразование Фурье (ДВПФ) и его свойства. Примеры вычисления прямого и обратного ДВПФ.	ПК-1
6. Дискретизация сигналов непрерывного времени: <ul style="list-style-type: none"> <li>- теорема отсчетов для видеосигналов (формулировка и доказательство);</li> <li>- дискретизация радиосигналов.</li> </ul>	ПК-2
7. Частотно-временные деформации дискретного сигнала:	ПК-2

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- уменьшение частоты дискретизации в целое число раз (прореживание, децимация);</li> <li>- увеличение частоты дискретизации в целое число раз (интерполяция);</li> </ul>	
8. Z-преобразование (прямое и обратное): <ul style="list-style-type: none"> <li>- свойства прямого z-преобразования; область сходимости;</li> <li>- решение разностных уравнений с помощью z-преобразования;</li> <li>- передаточная (системная) функция.</li> </ul> Примеры вычисления прямого и обратного Z-преобразования.	ПК-2
9. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ): <ul style="list-style-type: none"> <li>- представление периодических последовательностей дискретным рядом Фурье (ДРФ);</li> <li>- представление по Фурье последовательности конечной длительности (ДПФ);</li> <li>- свойства ДПФ;</li> <li>- реализация линейной свертки с помощью ДПФ («быстрая» свертка).</li> </ul> Связь ДВФ и ДПФ и примеры вычисления ДПФ.	ПК-2
10. Примеры КИХ- и БИХ-фильтров первого и второго порядков. Их частотные и временные характеристики.	ПК-2
11. Основные структурные схемы при построении БИХ-фильтров: <ul style="list-style-type: none"> <li>- прямая и каноническая структуры;</li> <li>- каскадная и параллельная структуры.</li> </ul>	ПК-2
12. Основные структурные схемы при построении КИХ-фильтров: <ul style="list-style-type: none"> <li>- прямая, каскадная и структура на основе быстрой свертки;</li> <li>- структуры с частотной выборкой.</li> </ul>	ПК-2
13. Расчет БИХ-фильтров по методу инвариантности импульсной характеристики.	ПК-1
14. Расчет БИХ-фильтров стандартных типов методом билинейного преобразования.	ПК-1
15. КИХ-фильтры с линейной фазо-частотной характеристикой, виды и свойства их импульсных и частотных характеристик.	ПК-1
16. Методы расчета КИХ-фильтров с линейной ФЧХ.	ПК-1

### 5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. По каким признакам осуществляется классификация сигналов и систем?
2. Приведите примеры дискретных во времени сигналов.
3. Дайте определение понятия “дискретная линейная система с постоянными параметрами (ЛПП-система)”.
4. Что такое импульсная характеристика ЛПП-системы?
5. Каково соотношение, определяющее выходной отклик ЛПП-системы на произвольный входной сигнал?
6. Каковы условия устойчивости и физической реализуемости ЛПП-системы?
7. Что такое частотная характеристика ЛПП-системы?
8. Определите понятие “спектральная характеристика “ дискретного сигнала.
9. Сформулируйте условия дискретизации во времени аналогового видеосигнала.
10. Как дискретизовать во времени узкополосный аналоговый радиосигнал?
11. Поясните процедуру квадратурного разложения узкополосного радиосигнала.
12. Как выполняется процедура уменьшения частоты дискретизации дискретного сигнала?
13. Как реализовать процедуру увеличения частоты дискретизации дискретного сигнала?
14. Что такое Z-преобразование?
15. Перечислите свойства Z-преобразования.



16. Что такое передаточная (системная) функция ЛПП- системы?
17. Напишите дискретный ряд Фурье.
18. Что такое ДПФ?
19. Каковы свойства ДПФ?
20. Что такое циклическая и линейная свертки?
21. Как вычисляется “быстрая” линейная свертка?
22. Что такое КИХ и БИХ-фильтры?
23. Приведите пример КИХ-фильтра 1-го порядка.
24. Приведите пример БИХ-фильтра 1-го порядка.
25. Что такое прямая и каноническая структуры ЦФ?
26. Что такое каскадная и параллельная структуры ЦФ?
27. Каковы особенности реализации структур КИХ-фильтров?
28. Каковы эффекты квантования параметров ЦФ?
29. В чем сущность метода билинейного преобразования?
30. Что такое метод инвариантности импульсной характеристики?
31. Как проектируются БИХ-фильтры стандартных типов: ФНЧ, ФВЧ, ФПП, ФПЗ ?
32. Когда необходимо машинное проектирование БИХ-фильтров?
33. Каковы условия линейности ФЧХ КИХ-фильтра?
34. Каковы разновидности КИХ- фильтров с линейной ФЧХ и их частотные характеристики?

Задание 1. Сформулируйте и докажите теорему отсчетов для видеосигналов.

Задание 2. Рассчитайте ДВПФ заданной последовательности бесконечной протяженности. Постройте амплитудно-частотный и фазо-частотный спектры.

Задание 3. Рассчитайте ДПФ заданной последовательности конечной протяженности.

Задание 4. Рассчитайте дискретно-временную свертку двух заданных последовательностей конечной протяженности.

### **5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-2**

1. В чем сущность метода взвешивания?
2. В чем сущность метода частотной выборки?
3. Поясните идею метода чебышевской оптимизации при проектировании КИХ-фильтра.
4. По каким признакам осуществляется классификация сигналов и систем?
5. Приведите примеры дискретных во времени сигналов.
6. Дайте определение понятия “ дискретная линейная система с постоянными параметрами (ЛПП-система)”.
7. Что такое импульсная характеристика ЛПП-системы?
8. Каково соотношение, определяющее выходной отклик ЛПП-системы на произвольный входной сигнал?
9. Каковы условия устойчивости и физической реализуемости ЛПП-системы?
10. Что такое частотная характеристика ЛПП-системы?
11. Определите понятие “спектральная характеристика “ дискретного сигнала.
12. Сформулируйте условия дискретизации во времени аналогового видеосигнала.
13. Как дискретизовать во времени узкополосный аналоговый радиосигнал?
14. Поясните процедуру квадратурного разложения узкополосного радиосигнала.
15. Как выполняется процедура уменьшения частоты дискретизации дискретного сигнала?
16. Как реализовать процедуру увеличения частоты дискретизации дискретного сигнала?
17. Что такое Z-преобразование?
18. Перечислите свойства Z-преобразования.

19. Что такое передаточная (системная) функция ЛПП- системы?
20. Напишите дискретный ряд Фурье.
21. Что такое ДПФ?
22. Каковы свойства ДПФ?
23. Что такое циклическая и линейная свертки?
24. Как вычисляется “быстрая” линейная свертка?
25. Что такое КИХ и БИХ-фильтры?
26. Приведите пример КИХ-фильтра 1-го порядка.
27. Приведите пример БИХ-фильтра 1-го порядка.
28. Что такое прямая и каноническая структуры ЦФ?
29. Что такое каскадная и параллельная структуры ЦФ?
30. Каковы особенности реализации структур КИХ-фильтров?
31. Каковы эффекты квантования параметров ЦФ?
32. В чем сущность метода билинейного преобразования?
33. Что такое метод инвариантности импульсной характеристики?
34. Как проектируются БИХ-фильтры стандартных типов: ФНЧ, ФВЧ, ФПП, ФПЗ ?
35. Когда необходимо машинное проектирование БИХ-фильтров?
36. Каковы условия линейности ФЧХ КИХ-фильтра?
37. Каковы разновидности КИХ- фильтров с линейной ФЧХ и их частотные характеристики?
38. В чем сущность метода взвешивания?
39. В чем сущность метода частотной выборки?
40. Поясните идею метода чебышевской оптимизации при проектировании КИХ-фильтра.

### 5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-3

Оформить отчет по итогам выполнения зачетного задания.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) Основная литература

1. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. М.,Связь,2003. – 33 экз.
2. Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс] / Оппенгейм А., Шафер Р. - Издание 3-е, исправленное. - М. : Техносфера, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363295.html>
3. Кривошеев В.И. Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие. – Н.Новгород: Изд-во Нижегородского университета, 2006. – 34 экз.
4. Коберниченко, В.Г. Расчет и проектирование цифровых фильтров: учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Екатеринбург : УрФУ, 2013. — 64 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/98929>

### б) Дополнительная литература

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. М., Высшая школа, 1988. – 228 экз.
2. Макаренко, А.А. Расчет цифровых фильтров методом автоматизированного проектирования [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.А. Макаренко, М.Ю. Плотников. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2014. — 50 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71056>
3. Гадзиковский, В.И. Методы проектирования цифровых фильтров [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Горячая линия-Телеком, 2012. — 416 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5142>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

<http://www.dsp-book.narod.ru/books.html>

<http://www.twirpx.com/files/equipment/dsp/>

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещение представляет собой учебную аудиторию для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенное оборудованием и техническими средствами обучения: компьютер, мультимедийный проектор.

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 ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования РФ 07.08.2020 № 918).

Автор: к.ф.-м.н., доцент Сорокин И.С.

Рецензент:

Заведующий кафедрой: д.т.н., доцент Фитасов Е.С.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «14» ноября 2022 года, протокол № 08/22.