

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**

Введение в теорию пространственной  
обработки 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 образовательной программы

Электромагнитные волны в средах

---

*(указывается профиль / магистерская программа / специализация)*

Форма обучения

очная

---

*(очная / очно-заочная / заочная)*

Нижегород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.08.01 "Введение в теорию пространственной обработки сигналов" относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 Радиоп физика, формируемой участниками образовательных отношений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

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	
<p><i>ПК-1:</i></p> <p><i>Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности</i></p>	<p>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.</p>	<p><i>Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений в области своей профессиональной деятельности</i></p> <p><i>Уметь: определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности</i></p> <p><i>Владеть: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований</i></p>	<p><i>Собеседование</i></p>
	<p>ПК-1.2. Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных</p>	<p><i>Знать: современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных</i></p> <p><i>Уметь: систематизировать</i></p>	

	источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий.	<i>и анализировать данные большого объема</i>  <i>Владеть: навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников</i>	
<p><i>ПК-2:</i></p> <p><i>Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты</i></p>	<p>ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов.</p>	<p><i>Знать: современное состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности</i></p> <p><i>Уметь: анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики</i></p> <p><i>Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики</i></p>	<i>Собеседование</i>
	<p>ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.</p>	<p><i>Знать: современные подходы к моделированию различных явлений</i></p> <p><i>Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования</i></p> <p><i>Владеть: навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи</i></p>	<i>Собеседование</i>
	<p>ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР.</p>	<p><i>Знать: основные принципы организации научного исследования</i></p> <p><i>Уметь: анализировать</i></p>	<i>Собеседование</i>

		<p><i>процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах</i></p> <p><i>Владеть: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов</i></p>	
	<p>ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.</p>	<p><i>Знать: современные подходы к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности</i></p> <p><i>Уметь: анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</i></p> <p><i>Владеть: навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи</i></p>	<p><i>Собеседование</i></p>
<p><i>ПК-3:</i></p> <p><i>Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских</i></p>	<p>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.</p>	<p><i>Знать: основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации</i></p> <p><i>Уметь: применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</i></p> <p><i>Владеть: навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров,</i></p>	<p><i>Собеседование</i></p>

разработок		публикаций	
	ПК-3.2. Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.	<p><i>Знать: основные способы представления и продвижения результатов НИР</i></p> <p><i>Уметь: структурировать презентационный материал, выделять основные результаты деятельности для их представления и расставлять акценты</i></p> <p><i>Владеть: навыками представления результатов НИР перед научным и академическим сообществом</i></p>	Собеседование
	ПК-3.3. Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.	<p><i>Знать: основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР</i></p> <p><i>Уметь: анализировать проектную документацию на выполнение НИР</i></p> <p><i>Владеть: навыками составления части проектной документации для проведения НИР</i></p>	Собеседование

### 3. Структура и содержание дисциплины «Введение в теорию пространственной обработки сигналов»

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
<b>в том числе</b>	

аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
самостоятельная работа	75
КСР	1
Промежуточная аттестация – зачет	-

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	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								
	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное
Введение	13			4									4			9		
Многоэлементная антенная решетка как пространственный фильтр сигналов. Диаграмма направленности антенной решетки (расчет и основные свойства).	47			14									14			33		
Методы пространственной обработки сигналов на фоне помех в различных средах распространения	47			14									14			33		
В т.ч. текущий контроль	1			1									1			-		
Промежуточная аттестация - Зачет																		

## Содержание разделов дисциплины

### **Раздел 1. Введение**

Краткий обзор проблематики курса. Основные задачи теории пространственной обработки сигналов. Классификация антенн с обработкой сигналов.

### **Раздел 2. Многоэлементная антенная решетка как пространственный фильтр сигналов. Диаграмма направленности антенной решетки (расчет и основные свойства).**

2.1. Прием сигналов с помощью протяженных (многоэлементных) антенных решеток. Расчет диаграммы направленности антенной решетки по заданной функции амплитудно-фазового распределения элементов. Физическая интерпретация полученных выражений, аналогии с задачами анализа дифракционных решеток и частотной фильтрации сигналов.

2.2. Основные свойства диаграммы направленности антенных решеток. Влияние взаимного положения элементов, фазового и амплитудного распределений на направленные свойства антенных решеток. Фазированные антенные решетки. Динамические антенные решетки.

### **Раздел 3. Методы пространственной обработки сигналов на фоне помех в различных средах распространения.**

3.1. Основные физические модели принимаемых сигналов. Критерии эффективности пространственной обработки. Связь с общей теорией принятия решений.

3.2. Когерентность волновых полей. Связь пространственного (углового) спектра принимаемого сигнала и спектральных свойств матрицы его пространственных корреляций на элементах решетки. Модельные примеры.

3.3. Оптимальная обработка полностью когерентных сигналов на фоне помех. Основные расчетные выражения и физическая интерпретация решений.

3.4. Оптимальная обработка частично-когерентных сигналов. Основные расчетные выражения и физическая интерпретация решений.

3.5. Элементы теории адаптивных антенных решеток. Связь и аналогии с задачами адаптивной оптики.

В рамках лекционных занятий организуются практикумы (семинары), 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.

На проведение занятий в форме практической подготовки отводится 4 часа.

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 лекционного типа, групповых или индивидуальных консультаций.

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

Используются следующие виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных и практических занятий, а также в процессе зачетов и экзаменов по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, комплекты слайдов, конспекты лекций.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### 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			
<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 несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность	При решении стандартных задач не продемонстрированы	Продемонстрированы основные умения.	Продемонстрированы все основные умения.	Продемонстрированы все основные умения.	Продемонстрированы все основные умения, решены	Продемонстрированы все основные умения, решены

	ть оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	ированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	ны все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	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
	<b>превосходно</b>	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
<b>зачтено</b>	<b>отлично</b>	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»
	<b>очень хорошо</b>	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»
	<b>хорошо</b>	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»
	<b>удовлетворительно</b>	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»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	<b>плохо</b>	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

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. Классификация антенн с обработкой сигналов.	ПК-2
2. Диаграмма направленности антенной решетки. Зависимость диаграммы направленности от числа элементов и межэлементного расстояния.	ПК-2
3. Влияние фазового распределения антенной решетки на ее направленные свойства. Фазированная антенная решетка.	ПК-2
4. Влияние амплитудного распределения антенной решетки на ее направленные свойства.	ПК-2
5. Динамические антенные решетки. Пространственно-временная фильтрация широкополосных сигналов.	ПК-2
6. Классификация задач пространственной обработки сигналов на фоне помех.	ПК-2
7. Критерии эффективности пространственной обработки. Отношение сигнал/шум, коэффициент усиления антенной решетки.	ПК-2
8. Функция и матрица когерентности принимаемого сигнала. Масштаб когерентности.	ПК-2
9. Спектральные свойства матрицы когерентности принимаемого сигнала. Разложение частично-когерентного сигнала в собственном ортогональном базисе.	ПК-2
10. Модель частично-когерентного сигнала в виде плоской волны с флуктуирующим углом прихода. Анализ функции когерентности и спектра собственных значений корреляционной матрицы.	ПК-1
11. Модель частично-когерентного сигнала в виде набора плоских волн со случайными амплитудами. Анализ функции когерентности и спектра собственных значений корреляционной матрицы.	ПК-1
12. Постановка задачи оптимизации пространственной обработки сигнала на фоне помех. Общие выражения для оптимальной обработки.	ПК-1
13. Оптимальная пространственная обработка сигнала в виде плоской волны на фоне помех дискретного углового спектра. Физическая интерпретация решения.	ПК-1
14. Оптимальная пространственная обработка частично-когерентного сигнала на фоне помех. Физическая интерпретация решения.	ПК-1
15. Постановка задачи адаптивной пространственной обработки. Критерии эффективности адаптивной обработки. Связь методов оптимальной и адаптивной пространственной обработки сигналов.	ПК-1

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

Оформить отчет по итогам выполнения зачетного задания.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Введение в теорию пространственной обработки сигналов»**

а) основная литература:

1. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. - Адаптивные антенные решетки: введение в теорию. - М.: Радио и связь, 1986. - 446 с.
2. Смаришев М. Д., Добровольский Ю. Ю. - Гидроакустические антенны: справочник по расчету направл. свойств гидроакуст. антенн. - Л.: Судостроение, 1984. - 300 с.
3. Справочник по радиолокации: пер. с англ. : в 4 т. Т. 2 . - М.: Советское радио, 1977. - 406 с.

б) дополнительная литература

1. Пистолькорс А. А., Литвинов О. С. - Введению в теорию адаптивных антенн. - М.: Наука, 1991. - 199, [1] с.
2. Журавлев А. К., Лукошкин А. П., Поддубный С. С. - Обработка сигналов в адаптивных антенных решетках. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. - 239 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);
2. Acrobat Professional 11.0 (номера лицензий: 65195558, 6 шт.)
3. Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):  
<http://e.lanbook.com/>;  
<http://www.biblioclub.ru>.

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

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

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 программы: к.ф.-м.н., доцент Малеханов А.И.

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Гавриленко В.Г.

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., проф. Кудрин А.В.

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