

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 № 6 от 31.05.2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Введение в теорию пространственной  
обработки сигналов

---

*(наименование дисциплины (модуля))*

Уровень высшего образования  
специалитет

---

*(бакалавриат / магистратура / специалитет)*

Направление подготовки / специальность  
11.05.02 Специальные радиотехнические системы

---

*(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)*

Направленность образовательной программы  
Радиотехнические системы и комплексы сбора и обработки информации

---

*(указывается профиль / магистерская программа / специализация)*

Форма обучения

очная

---

*(очная / очно-заочная / заочная)*

Нижний Новгород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.02 «Введение в теорию пространственной обработки сигналов» относится к части ООП направления подготовки 11.05.02 Специальные радиотехнические системы, 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	
<b>ПК-2</b>  Способен проводить математическое и компьютерное моделирования, моделирование, а также экспериментальные исследования объектов и процессов в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и апробации перспективных технических решений	<i>ПК-2.1. Понимает основы моделирования и компьютерного проектирования радиоэлектронных средств, стандартные пакеты прикладных программ, ориентированных на решение научных и проектных задач радиоэлектроники.</i>	<i>Знать</i> основные разделы современной теории обработки сигналов в приемных антенных системах <i>Уметь</i> систематизировать знания и сопоставлять различные физические явления теоретическому описанию <i>Владеть</i> навыками использования основных разделов теории антенных систем при решении практических задач	Задача (практическое задание), собеседование
	<i>ПК-2.2 Понимает математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиоэлектронных средств</i>	<i>Знать</i> основные методы математического анализа и моделирования физических явлений <i>Уметь</i> применять основные законы теории антенных систем к моделированию физических явлений <i>Владеть</i> навыками решения стандартных задач теории антенных систем	Задача (практическое задание), собеседование
	<i>ПК-2.3 Применяет компьютерные системы и пакеты прикладных программ для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств.</i>	<i>Знать</i> особенности приема и обработки пространственно-временных сигналов в различных средах (свободном пространстве, неоднородных средах, случайно-неоднородных средах), а также методы оптимальной обработки сигналов <i>Уметь</i> анализировать физические аспекты теории и возможности ее использования для моделирования волновых	Задача (практическое задание), собеседование

		процессов в целях анализа и оптимизации их параметров <i>Владеть</i> навыками решения задач оптимизации пространственной обработки сигналов на фоне помех для различных сигналов	
	<i>ПК-2.4. Проводит экспериментальные исследования в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и апробации перспективных технических решений</i>	<i>Знать</i> методы расчета основных характеристик радиотехнических систем и комплексов специального назначения <i>Уметь</i> рассчитывать и оценивать основные технические характеристики радиотехнических систем и комплексов специального назначения <i>Владеть</i> навыками анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов	Задача (практическое задание), собеседование

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>4 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	
- занятия семинарского типа	<b>32</b>
- лабораторные работы	<b>32</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>33</b>
<b>КСР</b>	<b>2</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет, экзамен</b>	<b>45</b>

### 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	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная
Введение	16						2			2			4			12		
Многоэлементная антенная решетка как пространственный фильтр сигналов. Диаграмма направленности антенной решетки (расчет и основные свойства).	65						16			16			32			33		
Методы пространственной обработки сигналов на фоне помех в различных средах распространения	63						15			15			30			33		
Промежуточная аттестация – Экзамен																		
Итого	144			66			33			33			66			78		

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.

Практические занятия (семинарские и лабораторные занятия) 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.

На проведение практических занятий (семинарских и лабораторных занятий) в форме практической подготовки отводится 64 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Математическое и компьютерное моделирование радиоэлектронных устройств и систем с целью оптимизации (улучшения) их параметров

- компетенций: ПК-2.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, занятий лабораторного 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 семинарских занятий, а также в процессе экзамена 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 (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 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 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 несущественным 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	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

	я от ответа	ошибки.	недочетами				
--	-------------	---------	------------	--	--	--	--

### 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

вопросы	Код формируемой компетенции
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. Фазируемая 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-2
11. Модель частично-когерентного сигнала в виде набора плоских волн со случайными амплитудами. Анализ функции когерентности и спектра собственных значений корреляционной матрицы.	ПК-2
12. Постановка задачи оптимизации пространственной обработки сигнала на фоне помех. Общие выражения для оптимальной обработки.	ПК-2
13. Оптимальная пространственная обработка сигнала в виде плоской волны на фоне помех дискретного углового спектра. Физическая интерпретация решения.	ПК-2
14. Оптимальная пространственная обработка частично-когерентного сигнала на фоне помех. Физическая интерпретация решения.	ПК-2
15. Постановка задачи адаптивной пространственной обработки. Критерии эффективности адаптивной обработки. Связь методов оптимальной и адаптивной пространственной обработки сигналов.	ПК-2

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

В каждом из предлагаемых ниже заданий выберите один (правильный по Вашему мнению) ответ из четырех предлагаемых Вам вариантов:

- Количество главных максимумов в диаграмме направленности фазированной антенной решетки зависит от:
  - 1) расстояния между элементами, 2) общего числа элементов, 3) угла фазировки, 4) расстояния между элементами и угла фазировки.
- Дальняя зона линейной антенной решетки определяется величиной отношения:
  - 1) расстояния от антенны к длине волны, 2) расстояния от антенны к ее длине,
  - 3) расстояния от антенны к расстоянию между ее элементами, 4) произведения расстояния и длины волны к квадрату длины антенны.



## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

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.
4. Пистолькорс А. А., Литвинов О. С. - Введению в теорию адаптивных антенн. - М.: Наука, 1991. - 199, [1] с.

б) дополнительная литература:

1. Журавлев А. К., Лукошкин А. П., Поддубный С. С. - Обработка сигналов в адаптивных антенных решетках. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. - 239 с.

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

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

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 по направлению подготовки (специальности) 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы» и уровню высшего образования Специалитет (утвержден приказом Минобрнауки России от 09.02.2018 № 95).

Авторы: к.ф.-м.н. А.И. Малеханов

Рецензент: к.ф.-м.н., доцент И.Ю. Грязнова

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 25 мая 2023 г., протокол № 04/23.