

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

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Введение в теорию пространственной обработки сигналов

---

Уровень высшего образования

Специалитет

---

Направление подготовки / специальность

11.05.02 - Специальные радиотехнические системы

---

Направленность образовательной программы

Прием, анализ и обработка сигналов системами специального назначения

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.02 Введение в теорию пространственной обработки сигналов относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-2: Способен проводить математическое и компьютерное моделирования, а также экспериментальные исследования объектов и процессов в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и апробации перспективных технических решений	<p>ПК-2.1: Понимает основы моделирования и компьютерного проектирования радиоэлектронных средств, стандартные пакеты прикладных программ, ориентированных на решение научных и проектных задач радиоэлектроники</p> <p>ПК-2.2: Понимает математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиоэлектронных средств</p> <p>ПК-2.3: Применяет компьютерные системы и пакеты прикладных программ для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств</p> <p>ПК-2.4: Проводит экспериментальные исследования в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и апробации перспективных технических решений</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знать основные разделы современной теории обработки сигналов в приемных антенных системах;</p> <p>Уметь систематизировать знания и сопоставлять различные физические явления теоретическому описанию;</p> <p>Владеть навыками использования основных разделов теории антенных систем при решении практических задач</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Знать основные методы математического анализа и моделирования физических явлений;</p> <p>Уметь применять основные законы теории антенных систем к моделированию физических явлений;</p> <p>Владеть навыками решения стандартных задач теории антенных систем</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знать особенности приема и обработки пространственно-временных сигналов в различных средах (свободном пространстве, неоднородных средах, случайно-</p>	Тест Задания	Экзамен: Контрольные вопросы

		<p>неоднородных средах), а также методы оптимальной обработки сигналов;  Уметь анализировать физические аспекты теории и возможности ее использования для моделирования волновых процессов в целях анализа и оптимизации их параметров;  Владеть навыками решения задач оптимизации пространственной обработки сигналов на фоне помех для различных сигналов</p> <p>ПК-2.4:  Знать методы расчета основных характеристик радиотехнических систем и комплексов специального назначения;  Уметь рассчитывать и оценивать основные технические характеристики радиотехнических систем и комплексов специального назначения;  Владеть навыками анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов</p>		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>4</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>0</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>64</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>33</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>45</b>
	<b>Экзамен</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование 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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Введение	7		4	4	3
Многоэлементная антенная решетка как пространственный фильтр сигналов. Диаграмма направленности антенной решетки (расчет и основные свойства).	45		30	30	15
Методы пространственной обработки сигналов на фоне помех в различных средах распространения.	45		30	30	15
Аттестация	45				
КСР	2				2
Итого	144	0	64	66	33

#### Содержание разделов и тем 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 /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 32 ч.

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

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1. Малеханов А.И. ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРИИ АНТЕННЫХ СИСТЕМ: Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород. – 2021. – 117 с.

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

##### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1. 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.

2. 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.

##### **Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.

Оценка	Критерии оценивания
	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Подготовить обзор современного состояния проблемы по одной из следующих предложенных областей теории пространственной обработки сигналов:

1. Модель частично-когерентного сигнала в виде плоской волны с флуктуирующим углом прихода. Анализ функции когерентности и спектра собственных значений корреляционной матрицы.
2. Модель частично-когерентного сигнала в виде набора плоских волн со случайными амплитудами. Анализ функции когерентности и спектра собственных значений корреляционной матрицы.
3. Постановка задачи оптимизации пространственной обработки сигнала на фоне помех. Общие выражения для оптимальной обработки.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.

### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

#### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
Знания	Отсутствие	Уровень	Минимальн	Уровень	Уровень	Уровень	Уровень

	знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	о допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	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 отдельным и несущественными 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 базовых навыков. 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 оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<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>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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»

не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Классификация антенн с обработкой сигналов.
2. Диаграмма направленности антенной решетки. Зависимость диаграммы направленности от числа элементов и межэлементного расстояния.
3. Влияние фазового распределения антенной решетки на ее направленные свойства.  
Фазированная антенная решетка.
4. Влияние амплитудного распределения антенной решетки на ее направленные свойства.
5. Динамические антенные решетки. Пространственно-временная фильтрация широкополосных сигналов.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продemonстрированы



Оценка	Критерии оценивания
	базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

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

Основная литература:

1. Монзинго Роберт А. Адаптивные антенные решетки : введение в теорию / пер. с англ. под ред. В. А. Лексаченко. - М. : Радио и связь, 1986. - 446 с. : ил. - 2.40., 2 экз.
2. Смартышев Михаил Дмитриевич. Гидроакустические антенны : справочник по расчету направл. свойств гидроакуст. антенн. - Л. : Судостроение, 1984. - 300 с. : граф. - (Библиотека инженера-гидроакустика). - 1.20., 1 экз.
3. Справочник по радиолокации : пер. с англ. : в 4 т. Т. 2 . Радиолокационные антенные устройства / ред. М. Сколник ; под общ. ред. К. Н. Трофимова ; авт. т.: Г. Кефалис [и др.] ; пер. т.: А. Я. Брейтбарт [и др.] ; под ред. П. И. Дудника. - М. : Советское радио, 1977. - 406 с. : ил. - 2.63., 4 экз.

Дополнительная литература:

1. Пистолькорс Александр Александрович. Введению в теорию адаптивных антенн / АН СССР, Отд-ние общ. физики и астрономии. - М. : Наука, 1991. - 199, [1] с. : ил. - ISBN 5-02-000128-7 : 2.70., 4 экз.
2. Журавлев Анатолий Константинович. Обработка сигналов в адаптивных антенных решетках. - Л. : Изд-во ЛГУ, 1983. - 239 с. : ил. - 1.90., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

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 (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

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.

Автор(ы): Малеханов Александр Игоревич, кандидат физико-математических наук.

Рецензент(ы): Гавриленко Владимир Георгиевич, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Кудрин Александр Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 16.01.2024 г., протокол № №1.