

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 Ученого совета ННГУ

протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Введение в теорию пространственной обработки сигналов

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Электромагнитные волны в средах

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.08.01 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-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности | <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>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</p> | <p>ПК-1.1:</p> <p>Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений в области своей профессиональной деятельности</p> <p>Уметь: определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности</p> <p>Владеть: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Знать: современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных</p> <p>Уметь: систематизировать и анализировать данные большого объема</p> <p>Владеть: навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников</p> | Тест | Зачёт: Контрольные вопросы |
| ПК-2: Способен выполнять | ПК-2.1: Анализирует современное состояние | ПК-2.1: Знать: современное | Тест | |

| | | | | |
|---|--|---|--|--|
| <p>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</p> | <p>исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p> | <p>состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности</p> <p>Уметь: анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики</p> <p>Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Знать: современные подходы к моделированию различных явлений</p> <p>Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования</p> <p>Владеть: навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знать: основные принципы организации научного исследования</p> <p>Уметь: анализировать процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах</p> <p>Владеть: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов</p> <p>ПК-2.4:</p> <p>Знать: современные подходы к оценке полученных результатов в области своей</p> | | <p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p> |
|---|--|---|--|--|

| | | | | |
|--|--|--|------|------------------------------|
| | | <p>профессиональной деятельности</p> <p>Уметь: анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p> <p>Владеть: навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи</p> | | |
| <p>ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</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>ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу</p> <p>ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика</p> | <p>ПК-3.1:</p> <p>Знать: основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации</p> <p>Уметь: применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>Владеть: навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций</p> <p>ПК-3.2:</p> <p>Знать: основные способы представления и продвижения результатов НИР</p> <p>Уметь: структурировать презентационный материал, выделять основные результаты деятельности для их представления и расставлять акценты</p> <p>Владеть: навыками представления результатов НИР перед научным и академическим сообществом</p> <p>ПК-3.3:</p> <p>Знать: основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР</p> <p>Уметь: анализировать проектную документацию на выполнение НИР</p> | Тест | <p>Зачёт:</p> <p>Задания</p> |

| | | | | |
|--|--|---|--|--|
| | | Владеть: навыками составления части проектной документации для проведения НИР | | |
|--|--|---|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | очная |
|--|--------------------------|
| Общая трудоемкость, з.е. | 3 |
| Часов по учебному плану | 108 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 32 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 0 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 75 |
| Промежуточная аттестация | 0 Зачёт |

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 | 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 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | 1 | |
| Итого | 108 | 32 | 0 | 33 | 75 |

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 - 4 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. 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. Смартышев Михаил Дмитриевич. Гидроакустические антенны : справочник по расчету направл. свойств гидроакуст. антенн. - Л. : Судостроение, 1984. - 300 с. : граф. - (Библиотека инженера-гидроакустика). - 1.20.

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.

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-1:

1. С ростом величины флуктуаций угла прихода плоской волны, падающей на вход антенной решетки, масштаб когерентности:

1) растет, 2) уменьшается, 3) не зависит от величины флуктуаций.

2. С ростом величины флуктуаций угла прихода полезного сигнала в виде плоской волны, падающей на вход фазированной антенной решетки, коэффициент усиления антенной решетки:

1) растет, 2) уменьшается, 3) остается неизменным (не зависит от величины флуктуаций).

5.1.2 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.

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Величина отклика фазированной антенной решетки на сигнал удаленного точечного источника зависит от:

1) углового положения источника относительно антенны, 2) углового положения источника и угла фазировки антенны, 3) не зависит от указанных параметров.

2. Полное подавление сигнала удаленного точечного источника на выходе антенной решетки:

1) принципиально возможно, 2) принципиально невозможно (возможно только частичное подавление).

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------|--|
| зачтено | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. |

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| 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 | | | |
| <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. Ошибок нет. | 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 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 | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и | Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без | Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

| | | | | | | | |
|--|---------------------------|--|------------------------------|-----------------|-----------|-----------------------|--|
| | обучающегося от ответа | | некоторым и недочетами | и недочетами | недочетов | ошибок и недочетов | |
|--|---------------------------|--|------------------------------|-----------------|-----------|-----------------------|--|

Шкала оценивания 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». |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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». |
| | 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-1

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.

5.3.2 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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--|
| зачтено | 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. |
| не зачтено | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки. |

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Оформить отчет по ответам на контрольные вопросы.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--|
| зачтено | 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. |
| не зачтено | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки. |

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. Смaрышев 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 03.04.03 - Радиофизика.

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 28.11.2024, протокол № 6/24.