

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

Адаптивные радиоэлектронные системы

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

02.04.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы

Теория информации

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.02 Адаптивные радиоэлектронные системы 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
УК-1: Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1: Знает методы критического анализа проблемных ситуаций УК-1.2: Умеет вырабатывать стратегию действий при возникновении критических ситуаций УК-1.3: Владеет основами системного подхода к анализу проблемных ситуаций	УК-1.1: Знать виды проблемных ситуаций в области своей профессиональной деятельности Уметь анализировать проблемные ситуации в ходе проведения исследования Владеть методами решения проблемных ситуаций УК-1.2: Знать основные методы решения проблемных ситуаций в области своей профессиональной деятельности Уметь вырабатывать стратегию действий для решения проблемных ситуаций в ходе проведения исследования Владеть навыками решения проблемных ситуаций УК-1.3: Знать	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

		<p>методы критического анализа проблемных ситуаций</p> <p>Уметь осуществлять анализ проблемных ситуаций</p> <p>Владеть основами системного подхода к анализу проблемных ситуаций</p>		
<p>ПК-1: Способен руководить научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, в области информатики и информационных технологий (ФИИТ), и формировать их новые направления в области профессиональной деятельности</p>	<p>ПК-1.1: Знает проблематику и методы научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1.2: Имеет навыки выполнения научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1.3: Имеет навыки руководства исследованиями и опытно-конструкторскими разработками в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности, и формирования их новых направлений</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать проблемы и методы научных исследований, опытно-конструкторских разработок в области информатики и информационных технологий (ФИИТ)</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 основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации о выполнении научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ</p> <p>Уметь самостоятельно составлять научно-технические отчеты и документацию о выполнении научных исследований и</p>	Собеседование	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

		<p>опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ</p> <p>Владеть навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций</p> <p>ПК-1.3: Знать основные способы представления и продвижения результатов в области опытно-конструкторских разработок, формировать их новые направления в области информатики и информационных технологий (ФИИТ)</p> <p>Уметь Организовывать и выполнять, научные исследования и опытно-конструкторские разработки в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности</p> <p>Владеть навыками руководства научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к цифровой обработке сигналов</p>		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0

- КСР	2
самостоятельная работа	65
Промежуточная аттестация	45 Экзамен

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	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Раздел 1. Методы оптимизации и адаптации. Примеры адаптивных радиоэлектронных систем.	15	5		5	10
Раздел 2. Градиентные адаптивные алгоритмы. Разновидности градиентных алгоритмов. Сходимость и устойчивость градиентных алгоритмов.	16	5		5	11
Раздел 3. Применение адаптивного линейного сумматора. Уравнение Винера-Хопфа. Декорреляция сигнала ошибки и входных сигналов.	16	5		5	11
Раздел 4. Многоканальный компенсатор комплексных сигналов. Основное уравнение. Декоррелятор Грама-Шмидта	16	5		5	11
Раздел 5. Структуры декоррелятора и компенсатора помехи, синтезированные на основе степенного базиса	16	5		5	11
Раздел 6 Адаптивные антенные решетки. Метод прямого обращения корреляционной матрицы. Регуляризация весового вектора в базисе степенных векторов.	18	7		7	11
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	144	32	0	34	65

Содержание разделов и тем дисциплины

При чтении лекций используется активная форма, заключающаяся в разборе конкретных ситуаций, возникающих при анализе рассматриваемых физических явлений (анализ корректности постановки задачи, выявление физического смысла полученного результата).

Используются следующие интерактивные формы проведения занятий:

- Предоставление студентам адресов необходимых Интернет–ресурсов.
- Обмен со студентами адресами электронной почты для обеспечения оперативного взаимодействия.
- Отправка студентам электронных писем, содержащих необходимые образовательные ресурсы (материалы к лекциям, персональные задания к зачёту).
- Предоставление студентам возможности обсуждения проблем, возникающих при освоении дисциплины, с использованием сети Интернет.

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.

Используются 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 занятий и в конце курса при проведении экзамена по данной дисциплине.

Во время лекций формулируются проблемы, которые студенты должны решить самостоятельно. На последующих лекциях проводится открытое обсуждение полученных результатов и даётся правильное решение.

Задания для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины выдаются студентам заранее. В случае необходимости проводятся индивидуальные консультации.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции УК-1:

1. Понятие отношения мощности сигнала к средней мощности шума.
2. Связь мощностей принятого и передаваемого сигналов в свободном пространстве
3. Квадратичная формула Введенского для множителя ослабления. Зависимость мощности принятого сигнала от расстояния.
4. К каким радиофизическим эффектам приводит многолучевое распространение сигнала?

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Замирания сигнала. Распределение Релея и Райса.
2. Частотная дисперсия сигнала, обусловленная мобильностью абонента. Эффект Доплера.
3. Импульсная характеристика и частотная передаточная функция канала.
4. Угловая дисперсия сигнала и его пространственная корреляция.

5. Пропускная способность каналов. Теорема Шеннона.
6. Разнесенный прием. Различные виды разнесения.
7. RAKE-приемник в CDMA-системе.
8. Вероятность битовой ошибки в релейском канале.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
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».
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».

5.2. 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 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	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 УК-1

1. Примеры задач, приводящих к необходимости использования адаптивных РЭС.
2. Общая постановка задачи построения адаптивной РЭС с заданной структурой. Критерии эффективности, учет ограничений, выбор алгоритма адаптации. Адаптивные системы с прямой и обратной связью.
3. Регулярные алгоритмические методы оптимизации. Простой градиентный алгоритм оптимизации, его достоинства и недостатки. Рассмотреть пример квадратичного функционала качества.
4. Регулярный метод оптимизации Ньютона, его достоинства и недостатки. Рассмотреть пример квадратичного функционала качества.
5. Модификации регулярных методов оптимизации: метод скорейшего спуска, метод Пауэла, модификации метода Ньютона, метод «тяжелого шарика».
6. Поисковые градиентные алгоритмы адаптации, методы случайного поиска. Условия их применения, достоинства и недостатки.
7. Учет ограничений в алгоритмах оптимизации. Градиентный алгоритм оптимизации с ограничениями. Пример построения алгоритма для системы с двумя степенями свободы с квадратичным критерием качества и линейными ограничениями.
8. Адаптация и обучение. Априорная неопределенность. Стохастические адаптивные градиентные методы оптимизации. Условия устойчивости.
9. Адаптивный линейный сумматор. Уравнение Винера-Хопфа для оптимального весового вектора, минимизирующего среднюю квадратичную ошибку (критерий МСКО).
10. Свойства квадратичного функционала. Ортогональное преобразование, диагонализующее корреляционную матрицу. Геометрическая интерпретация.
11. Поиск оптимального весового вектора адаптивного линейного сумматора. Одномерный случай. Устойчивость градиентного алгоритма.
12. Поиск оптимального весового вектора адаптивного линейного сумматора. Многомерный случай. Условие устойчивости градиентного алгоритма. Алгоритм Ньютона.
13. Адаптивный стохастический градиентный алгоритм поиска оптимального весового вектора линейного сумматора.
14. Адаптивные компенсаторы помех. Одномерный случай для действительных сигналов и квадратурный компенсатор узкополосных помех.
15. Многоканальный автокомпенсатор помех, его структурная схема с корреляционными обратными связями.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Методы ускорения процесса настройки весового вектора многоканального компенсатора узкополосных помех. Декорреляция входных сигналов. Использование матрицы составленной из собственных векторов и схема декоррелятора.
2. Прием гармонических сигналов антенными решетками (АР) произвольной конфигурации. Примеры эквидистантной и круговой АР.
3. Диаграмма направленности антенной решетки (АР) произвольной конфигурации с произвольным весовым вектором. Весовой вектор, максимизирующий амплитуду полезного сигнала на выходе АР.
4. Диаграмма направленности линейной эквидистантной антенной решетки (АР), состоящей из изотропных элементов. Ширина главного лепестка. Условие отсутствия дифракционных максимумов.
5. Регулярные методы уменьшения уровня боковых лепестков ДН антенных решеток. Коэффициент направленного действия (КНД) антенной системы.
6. Коэффициент усиления антенной системы. Расчет мощности полезного сигнала на приемнике. Уравнение Фрииса (Friis transmission equation)/
7. Прием узкополосных детерминированных сигналов с конечного шириной спектра антенными решетками (АР). Условие узкополосности сигнала для антенной решетки с конечной апертурой. Корреляционная матрица сигналов на элементах АР, ее свойства. Оценка корреляционной матрицы помех по временным выработкам выходных сигналов.
8. Отношение сигнал / шум на выходе антенной решетки в случае полезного сигнала с детерминированным волновым фронтом и произвольных внешних помех
9. Оптимальный весовой вектор АР, максимизирующий отношение сигнал / шум на выходе АР в случае отсутствия и при наличии внешних помех при сигнале с детерминированным волновым фронтом. Максимальное значение ОСШ.
10. Оптимальный весовой вектор АР, максимизирующий отношение сигнал/шум на выходе АР в случае отсутствия и при наличии внешних помех при сигнале со случайным волновым фронтом. Максимальное ОСШ при отсутствии внешних помех.
11. Свойства прямой и обратной корреляционных матриц. Каноническое разложение корреляционной матрицы помех в базисе собственных векторов.
12. Оптимальный весовой вектор адаптивной АР в случае одного внешнего источника с детерминированным волновым фронтом и собственных шумов. Рассмотреть пример расчета оптимального весового вектора и диаграммы направленности эквидистантной адаптивной линейной решетки в случае плоских волновых фронтов полезного сигнала и помехи.
13. Многопоточная передача информации в ММО системах связи с многоэлементными антенными решетками. Случай узкополосных сигналов.
14. Многопоточная передача информации ММО-OFDM системах связи. Случай широкополосных сигналов.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим

Оценка	Критерии оценивания
	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».
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».

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

Основная литература:

1. Ермолаев Виктор Тимофеевич. Методы обработки сигналов в адаптивных антенных решетках и компенсаторах помехи : учеб. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям 03.03.03 "Радиофизика", 02.03.02 "Фундам. информатика и информ. технологии" и специальности 10.05.02 "Информ. безопасность телекоммуникац. систем" / ННГУ. - Н. Новгород : [б. и.], 2015 (Тип. ННГУ). - 194 с. - 42.76., 20 экз.
2. Мобильная связь: вопросы теории и типовые задачи : учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальностям 090106 "Информ. безопасность телекоммуникац. систем" и 010400 "Информ. технологии" / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2014. - 234 с. - ISBN 978-5-91326-255-4 : 220.32., 50 экз.

Дополнительная литература:

1. Тихонов Василий Иванович. Статистическая радиотехника. - М. : Советское радио, 1966. - 678 с. : ил. - 2.54., 3 экз.

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

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, компьютерами, специализированным оборудованием: Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения: мультимедийный проектор. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.04.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Мальцев Александр Александрович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Мальцев Александр Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 9/23.