

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 11.04.01 Радиотехника

Наименование образовательной программы: Радиотехнические методы и устройства формирования и обработки сигналов

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ОСНОВЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ
РАДИОСИГНАЛОВ


Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.01.03.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	3 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	3 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	3 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лишак М.Ю.
	Идентификатор	R8f8c700d-LishakMY-11d34e7d

(подпись)


М.Ю. Лишак

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сафин А.Р.
	Идентификатор	Rdaf18b6c-SafinAR-8ed43814


(подпись)

А.Р. Сафин

(расшифровка
подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сафин А.Р.
	Идентификатор	Rdaf18b6c-SafinAR-8ed43814

(подпись)

А.Р. Сафин

(расшифровка
подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение принципов построения, алгоритмов и характеристик систем пространственно-временной обработки радиосигналов

Задачи дисциплины

- усвоение принципов построения, алгоритмов и основных характеристик оптимальных и адаптивных систем пространственно-временной обработки радиосигналов в условиях действия помех;

- освоение принципов оптимального построения систем пространственно-временной обработки сигналов и методов их технической реализации.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способность проводить исследования в целях совершенствования радиоэлектронных устройств	ИД-2ПК-1 Выполняет математическое и компьютерное моделирование радиоэлектронных устройств с целью оптимизации их параметров	знать: - структурные схемы и алгоритмы оптимальных и адаптивных устройств пространственной фильтрации радиосигналов; - структурные схемы и алгоритмы устройств пеленгации источников радиосигналов. уметь: - выполнять расчеты характеристик и моделирование устройств пространственно-временной обработки радиосигналов.
ПК-2 Способность разрабатывать и модернизировать радиоэлектронные устройства и блоки	ИД-2ПК-2 Использует средства компьютерного моделирования в целях модернизации и совершенствования радиоэлектронных устройств и блоков	знать: - принцип действия, алгоритмы и основные характеристики адаптивных компенсаторов помех. уметь: - выполнять расчёты характеристик и моделирование адаптивных компенсаторов помех.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радиотехнические методы и устройства формирования и обработки сигналов (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.01 Радиотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основы линейной алгебры и матричных вычислений
- знать представление сигналов с помощью их комплексных огибающих
- знать основы теории вероятностей и математической статистики
- уметь выполнять алгебраические преобразования с использованием матриц
- уметь выполнять алгебраические преобразования с комплексными числами

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Общие сведения о системах пространственно-временной обработки сигналов	6	3	2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материалов по разделу "Общие сведения о системах пространственно-временной обработки сигналов", изучение терминов и определений</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 9-14 [3], стр. 51-53</p>	
1.1	Общие сведения о системах пространственно-временной обработки сигналов	6		2	-	-	-	-	-	-	-	-	4		-
2	Оптимальные и адаптивные компенсаторы помех	16		4	-	4	-	-	-	-	-	-	8		-
2.1	Оптимальные и адаптивные компенсаторы помех	16		4	-	4	-	-	-	-	-	-	8		-
3	Математическое описание систем пространственно-временной обработки сигналов	20		6	-	2	-	-	-	-	-	-	12		-
3.1	Математическое описание систем пространственно-временной обработки сигналов	20		6	-	2	-	-	-	-	-	-	12		-
4	Синтез	16		4	-	4	-	-	-	-	-	-	8		-
														<p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу "Адаптивные компенсаторы помех" и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 239-243</p>	
														<p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу "Математическое описание систем пространственно-временной обработки сигналов" и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 9-15 [2], стр. 220-226, 251-262</p>	
														<u>Подготовка расчетно-графического</u>	

	пространственного фильтра для подавления помех с известными угловыми координатами												задания: Выполнение пп. 1, 2 расчётного задания: Математическое описание алгоритма адаптации; расчёт среднего нормированного отношения сигнал/(помеха+шум)
4.1	Синтез пространственного фильтра для подавления помех с известными угловыми координатами	16	4	-	4	-	-	-	-	-	8	-	Подготовка к практическим занятиям: Изучение материала по разделу "Синтез пространственного фильтра для подавления помех с известными угловыми координатами", подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
5	Алгоритмы адаптации пространственного фильтра	24	8	-	2	-	-	-	-	-	14	-	Подготовка расчетно-графического задания: Выполнение п. 3 расчётного задания: Подбор параметра регуляризации алгоритма адаптации для получения максимального среднего отношения сигнал/(помеха+шум)
5.1	Алгоритмы адаптации пространственного фильтра	24	8	-	2	-	-	-	-	-	14	-	Подготовка к практическим занятиям: Изучение материала по разделу "Алгоритмы адаптации пространственного фильтра", подготовка к выполнению заданий на практических занятиях Изучение материалов литературных источников: [1], стр. 14-17, 36-39, 44-49
6	Методы оценивания количества и углового положения источников радиосигналов	26	8	-	4	-	-	-	-	-	14	-	Подготовка к практическим занятиям: Изучение материала по разделу "Методы оценивания количества и углового положения источников излучения", подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
6.1	Методы оценивания количества и углового положения источников радиосигналов	26	8	-	4	-	-	-	-	-	14	-	Подготовка расчетно-графического задания: Выполнение п. 4 расчётного задания: Расчёт пеленгационного рельефа, определение ошибок измерения углов Изучение материалов литературных источников: [1], стр. 61-70, 80-82
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	

	Всего за семестр	144.0		32	-	16	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0		32	-	16	2	-	-	0.5	60	33.5		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Общие сведения о системах пространственно-временной обработки сигналов

1.1. Общие сведения о системах пространственно-временной обработки сигналов

Назначение и структура систем пространственно-временной обработки сигналов. Системы пространственной фильтрации. Оптимальная и адаптивная пространственная фильтрация. Основные типы систем пространственной фильтрации: 1) компенсаторы помех; 2) пространственные фильтры на основе фазированных антенных решеток..

2. Оптимальные и адаптивные компенсаторы помех

2.1. Оптимальные и адаптивные компенсаторы помех

Структурная схема и принцип действия одноканального адаптивного компенсатора помехи (АКП). Диаграмма направленности АКП. Оптимизация комплексного весового коэффициента АКП по критерию минимума дисперсии колебания на выходе. Прямой и итерационный алгоритмы адаптации компенсатора помехи. Градиентный алгоритм минимизации дисперсии: математическое описание, влияние шага адаптации, условие сходимости алгоритма. Стохастический градиентный алгоритм адаптации АКП..

3. Математическое описание систем пространственно-временной обработки сигналов

3.1. Математическое описание систем пространственно-временной обработки сигналов

Обзор основных понятий и результатов матричной алгебры, используемых для описания систем пространственно-временной обработки сигналов. Вектор комплексных огибающих принимаемых колебаний, направляющий вектор колебания, весовой вектор. Диаграмма направленности пространственного фильтра (ПФ) как скалярное произведение. Корреляционная матрица принимаемых колебаний, ее свойства. Дисперсия колебания на выходе ПФ как квадратичная форма..

4. Синтез пространственного фильтра для подавления помех с известными угловыми координатами

4.1. Синтез пространственного фильтра для подавления помех с известными угловыми координатами

Геометрическая постановка задачи синтеза ПФ: отыскание весового вектора, ортогонального направляющим векторам помех. Условие минимальных искажений диаграммы направленности (ДН) ПФ по сравнению с согласованной ДН. Матрица оператора ортогонального проектирования на подпространство помех. Определение весового вектора ПФ в случае действия одной и нескольких помех. Структура выражения для весового вектора синтезированного ПФ. Структура выражения для ДН ПФ, его физический смысл. Синтез пространственного фильтра с кратными нулями ДН..

5. Алгоритмы адаптации пространственного фильтра

5.1. Алгоритмы адаптации пространственного фильтра

Алгоритмы адаптации ПФ: итерационные алгоритмы, прямые алгоритмы. Алгоритм адаптации на основе оценки собственных векторов корреляционной матрицы помех. Прямой алгоритм адаптации на основе решения уравнения Винера-Хопфа. Регуляризация прямого алгоритма..

6. Методы оценивания количества и углового положения источников радиосигналов

6.1. Методы оценивания количества и углового положения источников радиосигналов

Использование системы пространственной обработки для оценивания количества и угловых координат источников радиосигналов. «Классический» алгоритм угловой пеленгации, его разрешающая способность. Критерий Рэлея оценки разрешающей способности. Алгоритмы сверхразрешения: алгоритм Кейпона, обобщённый алгоритм Кейпона 2-го порядка, алгоритм MUSIC. Потенциальная и реальная разрешающая способность алгоритмов пеленгации..

3.3. Темы практических занятий

1. Оптимальный одноканальный компенсатор помехи;
2. Адаптивный одноканальный компенсатор помехи;
3. Математическое описание систем пространственно-временной обработки сигналов;
4. Синтез пространственного фильтра для подавления помех с известными угловыми координатами;
5. Синтез оптимального пространственного фильтра по критерию максимума отношения сигнал/(помеха+шум);
6. Прямой алгоритм адаптации пространственного фильтра;
7. Алгоритмы оценивания количества и углового положения источников радиосигналов;
8. Обобщение и анализ результатов моделирования систем пространственно-временной обработки радиосигналов.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по назначению, структуре и принципу действия систем пространственно-временной обработки сигналов
2. Обсуждение материалов по структурной схеме, принципу действия и алгоритму адаптации одноканального адаптивного компенсатора помехи
3. Обсуждение материалов по вопросам: вектор комплексных огибающих принимаемых колебаний, направляющий вектор колебания, весовой вектор, диаграмма направленности пространственного фильтра, корреляционная матрица принимаемых колебаний
4. Обсуждение материалов по вопросам: геометрическая постановка задачи подавления помех, условие минимальных искажений диаграммы направленности, определение весового вектора в случае действия одной и нескольких помех
5. Обсуждение материалов по вопросам: алгоритм адаптации на основе оценки собственных векторов корреляционной матрицы помех, прямой алгоритм адаптации, регуляризация прямого алгоритма
6. Обсуждение материалов по вопросам: «классический» алгоритм угловой пеленгации, его разрешающая способность, алгоритмы сверхразрешения: алгоритм Кейпона, алгоритм MUSIC

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)						Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6		
Знать:									
структурные схемы и алгоритмы устройств пеленгации источников радиосигналов	ИД-2ПК-1							+	Расчетно-графическая работа/Расчёт пеленгационного рельефа, определение ошибок измерения углов
структурные схемы и алгоритмы оптимальных и адаптивных устройств пространственной фильтрации радиосигналов	ИД-2ПК-1			+	+	+			Расчетно-графическая работа/Математическое описание алгоритма адаптации; расчёт среднего нормированного отношения сигнал/(помеха+шум) Контрольная работа/Математическое описание систем пространственно-временной обработки сигналов Расчетно-графическая работа/Подбор параметра регуляризации алгоритма адаптации для получения максимального среднего отношения сигнал/(помеха+шум)
принцип действия, алгоритмы и основные характеристики адаптивных компенсаторов помех	ИД-2ПК-2	+	+						Контрольная работа/Принцип действия, характеристики и алгоритмы одноканального адаптивного компенсатора помехи
Уметь:									
выполнять расчеты характеристик и моделирование устройств пространственно-временной обработки радиосигналов	ИД-2ПК-1							+	Расчетно-графическая работа/Математическое описание алгоритма адаптации; расчёт среднего нормированного отношения сигнал/(помеха+шум) Контрольная работа/Математическое описание систем пространственно-временной обработки сигналов Расчетно-графическая работа/Подбор параметра регуляризации алгоритма адаптации для получения максимального среднего отношения сигнал/(помеха+шум)

выполнять расчёты характеристик и моделирование адаптивных компенсаторов помех	ИД-2 _{ПК-2}		+				Контрольная работа/Принцип действия, характеристики и алгоритмы одноканального адаптивного компенсатора помехи
--	----------------------	--	---	--	--	--	--

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Математическое описание систем пространственно-временной обработки сигналов (Контрольная работа)
2. Принцип действия, характеристики и алгоритмы одноканального адаптивного компенсатора помехи (Контрольная работа)

Форма реализации: Соблюдение графика выполнения задания

1. Математическое описание алгоритма адаптации; расчёт среднего нормированного отношения сигнал/(помеха+шум) (Расчетно-графическая работа)
2. Подбор параметра регуляризации алгоритма адаптации для получения максимального среднего отношения сигнал/(помеха+шум) (Расчетно-графическая работа)
3. Расчёт пеленгационного рельефа, определение ошибок измерения углов (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №3)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Ратынский, М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках / М. В. Ратынский . – М. : Радио и связь, 2003 . – 200 с. - ISBN 5-256-01698-9 .;
2. Шахтарин, Б. И. Нелинейная оптимальная фильтрация в примерах и задачах : учебное пособие для вузов радиотехнических и приборных специальностей / Б. И. Шахтарин . – 2-е изд., стер . – М. : Горячая Линия-Телеком, 2014 . – 344 с. - ISBN 978-5-9912-0444-6 .;
3. В. И. Джиган- "Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы", Издательство: "Техносфера", Москва, 2013 - (528 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233460>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;

5. GNU Octave.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Е-420/4, Компьютерно-вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол, стул, шкаф, вешалка для одежды, доска маркерная, компьютер персональный
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-420/4, Компьютерно-вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол, стул, шкаф, вешалка для одежды, доска маркерная, компьютер персональный
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-420/4, Компьютерно-вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол, стул, шкаф, вешалка для одежды, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Е-420/5, Помещение учебно-вспомогательного персонала	стеллаж для хранения книг, стул, шкаф, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, холодильник, документы, журналы, книги, учебники, пособия, архивные документы
	Е-420/7, Лаборатория М-видео	стол преподавателя, стол, стул, шкаф, вешалка для одежды, доска маркерная, телевизор
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-704/14, Помещение каф. "ФОРС"	оборудование для экспериментов, запасные комплектующие для оборудования

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Основы пространственно-временной обработки радиосигналов

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Принцип действия, характеристики и алгоритмы одноканального адаптивного компенсатора помехи (Контрольная работа)
- КМ-2 Математическое описание систем пространственно-временной обработки сигналов (Контрольная работа)
- КМ-3 Математическое описание алгоритма адаптации; расчёт среднего нормированного отношения сигнал/(помеха+шум) (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Подбор параметра регуляризации алгоритма адаптации для получения максимального среднего отношения сигнал/(помеха+шум) (Расчетно-графическая работа)
- КМ-5 Расчёт пеленгационного рельефа, определение ошибок измерения углов (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	12	14	15
1	Общие сведения о системах пространственно-временной обработки сигналов						
1.1	Общие сведения о системах пространственно-временной обработки сигналов		+				
2	Оптимальные и адаптивные компенсаторы помех						
2.1	Оптимальные и адаптивные компенсаторы помех		+				
3	Математическое описание систем пространственно-временной обработки сигналов						
3.1	Математическое описание систем пространственно-временной обработки сигналов			+	+	+	
4	Синтез пространственного фильтра для подавления помех с известными угловыми координатами						
4.1	Синтез пространственного фильтра для подавления помех с известными угловыми координатами			+	+	+	
5	Алгоритмы адаптации пространственного фильтра						
5.1	Алгоритмы адаптации пространственного фильтра			+	+	+	
6	Методы оценивания количества и углового положения источников радиосигналов						

6.1	Методы оценивания количества и углового положения источников радиосигналов					+
Вес КМ, %:		20	30	15	20	15