

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

---

Направление подготовки/специальность: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Наименование образовательной программы: Радионавигационные системы и комплексы

Уровень образования: высшее образование - специалитет

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФАР И АФАР**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.20.03.03</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>9 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>9 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>9 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>9 семестр - 59,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Тестирование</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Расчетно-графическая работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>9 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Михайлов М.С.
	Идентификатор	R88495daf-MikhailovMS-74da3f0e

М.С. Михайлов

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сизякова А.Ю.
	Идентификатор	R4eb30863-SiziakovaAY-83831ea7

А.Ю. Сизякова

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Куликов Р.С.
	Идентификатор	R7ef0b374-KulikovRS-e851162c

Р.С. Куликов

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** состоит в изучении функционирования фазированных антенных решёток (ФАР) и активных ФАР (АФАР) в радиосистемах различного назначения, а также методов и алгоритмов их анализа и проектирования..

### Задачи дисциплины

- изучение функционирования ФАР и АФАР, их основных характеристик, особенностей построения в радиосистемах различного назначения и базирования;
- изучение методов анализа ФАР и АФАР различного назначения и базирования;
- изучение методов проектирования и расчёта ФАР и АФАР различного назначения и базирования.

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 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы подсистем радиоэлектронных систем и комплексов, в том числе с использованием математического моделирования алгоритмов формирования, передачи, приема и обработки радиосигналов	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Знает методы выполнения расчетов основных технических характеристик схем подсистем радиоэлектронных систем и комплексов	знать: - методы проектирования и расчета параметров ФАР и АФАР, возможности оптимизации этих параметров; - назначение и технические характеристики типов ФАР и АФАР, особенности их функционирования, фундаментальные ограничения на достижимые параметры, определяющие эффективность работы в радиосистемах различного назначения (радиолокация, навигация, связь).
ПК-1 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы подсистем радиоэлектронных систем и комплексов, в том числе с использованием математического моделирования алгоритмов формирования, передачи, приема и обработки радиосигналов	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Умеет использовать методы математических расчетов характеристик радиотехнических устройств, систем и процессов для анализа и оптимизации их параметров	уметь: - определять облик антенного устройства по техническому заданию на ФАР или АФАР и исходным данным; - решать типовые задачи, связанные с анализом функционирования и проектированием ФАР и АФАР различного назначения.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радионавигационные системы и комплексы (далее – ОПОП), направления подготовки 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, уровень образования: высшее образование - специалитет.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ 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	Принцип действия фазированных антенных решёток	14.5	9	4	-	2	-	-	-	-	-	8.5	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 5-28, 434-457
1.1	Принцип действия фазированных антенных решёток	14.5		4	-	2	-	-	-	-	-	8.5	-	
2	Структурные схемы фазированных антенных решёток	16.2		4	-	4	-	-	-	-	-	8.2	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 64-104
2.1	Структурные схемы фазированных антенных решёток	16.2		4	-	4	-	-	-	-	-	8.2	-	
3	Элементы фазированных антенных решёток и активных фазированных антенных решёток	18.5		6	-	2	-	-	-	-	-	10.5	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 278-317 [3], стр. 3-47
3.1	Элементы фазированных антенных решёток и активных фазированных антенных решёток	18.5		6	-	2	-	-	-	-	-	10.5	-	
4	Методы расчета характеристик фазированных антенных решёток и	21		6	-	4	-	-	-	-	-	11	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 104-118

	активных ФАР												
4.1	Методы расчета характеристик фазированных антенных решёток и активных ФАР	21	6	-	4	-	-	-	-	-	11	-	
5	Сканирование диаграммы направленности фазированной антенной решётки и активной ФАР	19	6	-	2	-	-	-	-	-	11	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [1], стр. 105-125 [3], стр. 134-173
5.1	Сканирование диаграммы направленности фазированной антенной решётки и активной ФАР	19	6	-	2	-	-	-	-	-	11	-	
6	Адаптивные антенные решетки	18.5	6	-	2	-	-	-	-	-	10.5	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i>
6.1	Адаптивные антенные решетки	18.5	6	-	2	-	-	-	-	-	10.5	-	[1], стр. 46-83 [4], стр. 7-60
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>59.7</b>	<b>-</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>59.7</b>	<b>-</b>	

**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. Принцип действия фазированных антенных решёток

##### 1.1. Принцип действия фазированных антенных решёток

Принцип действия фазированных антенных решёток (ФАР). Классификация ФАР по функциональному назначению и месту базирования (наземные, морские, самолетные, космические, подземные и т.д.). Типы ФАР и активных ФАР: сканирующие, многолучевые с частотным сканированием, адаптивные, цифровые..

#### 2. Структурные схемы фазированных антенных решёток

##### 2.1. Структурные схемы фазированных антенных решёток

Структурные схемы ФАР и их основные параметры, Определение геометрических характеристик ФАР: КНД, КУ, КИП, сектор обзора и т.д. Взаимное влияние элементов, побочные лепестки ДН и их устранение, неэквилибранные ФАР..

#### 3. Элементы фазированных антенных решёток и активных фазированных антенных решёток

##### 3.1. Элементы фазированных антенных решёток и активных фазированных антенных решёток

Элементы ФАР и АФАР: излучатели различных типов, диаграммообразующие схемы (ДОС) распределительного и квазиоптического типов, фазовращатели, делители мощности, коммутационные элементы и т.д..

#### 4. Методы расчета характеристик фазированных антенных решёток и активных ФАР

##### 4.1. Методы расчета характеристик фазированных антенных решёток и активных ФАР

Методы расчета характеристик линейных, плоских, круговых, цилиндрических ФАР. Метод парциальных диаграмм направленности ФАР..

#### 5. Сканирование диаграммы направленности фазированной антенной решётки и активной ФАР

##### 5.1. Сканирование диаграммы направленности фазированной антенной решётки и активной ФАР

Сканирование ДН ФАР. Управление фазовым и амплитудным распределением поля в раскрывах антенных решеток. Влияние дискретного характера возбуждения..

#### 6. Адаптивные антенные решетки

##### 6.1. Адаптивные антенные решетки

Адаптивные антенные решетки, поэлементный подход к определению управляющих воздействий. Алгоритмы группового управления фазовым распределением, формирование провалов в ДН в направлениях прихода помех, метод эквивалентного линейного раскрыва для подавления помех в плоских ФАР больших размеров..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Структурные схемы ФАР и их основные параметры, Определение геометрических характеристик ФАР: КНД, КУ, КИП, сектор обзора и т.д.;

2. Расчет взаимного влияния двух разнесенных антенн. Асимптотическая формула для

- расчета взаимной связи. Обобщенный метод наведенных ЭДС.;
3. Геометрооптическая трактовка процедуры расчета возбуждающих токов в линейной ФАР;
  4. Метод парциальных ДН в задаче синтеза заданных ДН ФАР.;
  5. Расчет ориентации главного луча линейного и плоского антенного раскрыва произвольной формы при известной функции амплитудно-фазового распределения поля общего вида методом АОП.;
  6. Методика расчета провалов в ДН линейных и плоских антенн в направлениях прихода помех. Подавление широкополосных помех;
  7. Методика оценок степени снижения КУ линейных и плоских ФАР при наличии фазовых искажений поля в раскрывах.;
  8. Методика расчета распределительных ДОС.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

### **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	
<b>Знать:</b>								
назначение и технические характеристики типов ФАР и АФАР, особенности их функционирования, фундаментальные ограничения на достижимые параметры, определяющие эффективность работы в радиосистемах различного назначения (радиолокация, навигация, связь)	ИД-1пк-1	+	+					Тестирование/Тест "Основные параметры антенн и антенных решёток"
методы проектирования и расчета параметров ФАР и АФАР, возможности оптимизации этих параметров	ИД-1пк-1			+	+			Контрольная работа/Контрольная работа «Расчет эквидистантной линейной антенной решетки»
<b>Уметь:</b>								
решать типовые задачи, связанные с анализом функционирования и проектированием ФАР и АФАР различного назначения	ИД-2пк-1			+	+			Контрольная работа/Контрольная работа «Модификация амплитудно-фазового распределения ФАР с целью подавления помехи по максимальному боковому лепестку»
определять облик антенного устройства по техническому заданию на ФАР или АФАР и исходным данным	ИД-2пк-1					+	+	Расчетно-графическая работа/Защита расчётного задания

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

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**9 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Защита расчётного задания (Расчетно-графическая работа)
2. Контрольная работа «Модификация амплитудно-фазового распределения ФАР с целью подавления помехи по максимальному боковому лепестку» (Контрольная работа)
3. Контрольная работа «Расчет эквидистантной линейной антенной решетки» (Контрольная работа)
4. Тест "Основные параметры антенн и антенных решёток" (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №9)*

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

В диплом выставляется оценка за 9 семестр.

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

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Баланис К. А., Иоанидес П. И.- "Введение в смарт-антенны", Издательство: "Техносфера", Москва, 2012 - (200 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=73501](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=73501);
2. Устройства СВЧ и антенны: Проектирование фазированных антенных решеток : учебное пособие для вузов по направлению "Радиотехника" / Д. И. Воскресенский, [и др.] ; Ред. Д. И. Воскресенский . – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Радиотехника, 2012 . – 744 с. - ISBN 978-5-88070-311-1 .;
3. Вендик, О. Г. Антенны с электрическим сканированием (введение в теорию) : учебное пособие для вузов по направлению 654200 "Радиотехника" / О. Г. Вендик, М. Д. Парнес ; Ред. Л. Д. Бахрах . – М. : Сайнс-Пресс, 2002 . – 232 с. + CD-ROM . - ISBN 5-948180-02-6 .;
4. Ратынский, М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках / М. В. Ратынский . – М. : Радио и связь, 2003 . – 200 с. - ISBN 5-256-01698-9 ..

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. Python;
6. 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](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. 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-800/1, Учебная лаборатория антенных систем и распространения радиоволн	парта, парта со скамьей, стол преподавателя, стол, стул, шкаф для документов, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, стенд лабораторный
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-800/1, Учебная лаборатория антенных систем и распространения радиоволн	парта, парта со скамьей, стол преподавателя, стол, стул, шкаф для документов, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, стенд лабораторный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-800/1, Учебная лаборатория антенных систем и распространения радиоволн	парта, парта со скамьей, стол преподавателя, стол, стул, шкаф для документов, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, стенд лабораторный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, 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-825/1, Кабинет сотрудников каф. "РТП и АС"	кресло рабочее, парта, стол, стул, шкаф, шкаф для одежды, стол письменный, ноутбук, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-802/4, Склад инвентаря и оборудования	стеллаж, стол, стул, шкаф, шкаф для документов, сервер

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Проектирование ФАР и АФАР

(название дисциплины)

#### 9 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Тест "Основные параметры антенн и антенных решёток" (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа «Расчет эквидистантной линейной антенной решетки» (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа «Модификация амплитудно-фазового распределения ФАР с целью подавления помехи по максимальному боковому лепестку» (Контрольная работа)
- КМ-4 Защита расчётного задания (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	Принцип действия фазированных антенных решёток					
1.1	Принцип действия фазированных антенных решёток		+			
2	Структурные схемы фазированных антенных решёток					
2.1	Структурные схемы фазированных антенных решёток		+			
3	Элементы фазированных антенных решёток и активных фазированных антенных решёток					
3.1	Элементы фазированных антенных решёток и активных фазированных антенных решёток			+	+	
4	Методы расчета характеристик фазированных антенных решёток и активных ФАР					
4.1	Методы расчета характеристик фазированных антенных решёток и активных ФАР			+	+	
5	Сканирование диаграммы направленности фазированной антенной решётки и активной ФАР					
5.1	Сканирование диаграммы направленности фазированной антенной решётки и активной ФАР					+
6	Адаптивные антенные решетки					
6.1	Адаптивные антенные решетки					+
Вес КМ, %:			20	20	20	40