

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  
(факультет / институт / филиал)

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением президиума Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«14» декабря 2021 г. № 4

**Рабочая программа дисциплины**

Устройства сверхвысоких частот и антенны  
(наименование дисциплины (модуля))

---

Уровень высшего образования  
специалитет  
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

---

Направление подготовки / специальность  
11.05.02 Специальные радиотехнические системы  
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

---

Направленность образовательной программы  
Прием, анализ и обработка сигналов системами специального назначения  
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

---

Форма обучения  
очная  
(очная / очно-заочная / заочная)

---

Нижний Новгород

2022 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.07 «Устройства сверхвысоких частот и антенны» относится к части ООП направления подготовки 11.05.02 Специальные радиотехнические системы, формируемой участниками образовательных отношений.

## 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	
<b>ПК-2</b>  Способен проводить математическое и компьютерное моделирование, моделирование, а также экспериментальные исследования объектов и процессов в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и апробации перспективных технических решений	<b>ПК-2.1. Понимает основы моделирования и компьютерного проектирования радиоэлектронных средств, стандартные пакеты прикладных программ, ориентированных на решение научных и проектных задач радиоэлектроники.</b>	Знать основные законы теории антенных систем Уметь систематизировать знания и сопоставлять различные физические явления теоретическому описанию Владеть навыками использования основных разделов теории антенных систем при решении практических задач	Задача (практическое задание), собеседование
	<b>ПК-2.2 Понимает математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиоэлектронных средств</b>	Знать основные методы математического анализа и моделирования физических явлений Уметь применять основные законы теории антенных систем к моделированию физических явлений Владеть навыками решения стандартных задач теории антенных систем	Задача (практическое задание), собеседование
	<b>ПК-2.3 Применяет компьютерные системы и пакеты прикладных программ для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств.</b>	Знать основные методы анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов Уметь анализировать физические аспекты теории и возможности ее использования для моделирования волновых процессов в целях анализа и оптимизации их параметров Владеть навыками анализа и расчета характеристик	Задача (практическое задание), собеседование

		радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов	
	<i>ПК-2.4. Проводит экспериментальные исследования в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и апробации перспективных технических решений</i>	<p>Знать методы расчета основных характеристик радиотехнических систем и комплексов специального назначения</p> <p>Уметь рассчитывать и оценивать основные технические характеристики радиотехнических систем и комплексов специального назначения</p> <p>Владеть навыками анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов</p>	Задача (практическое задание), собеседование

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>6 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>216</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>64</b>
- занятия семинарского типа	
- лабораторные работы	<b>32</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>72</b>
<b>КСР</b>	<b>3</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет, экзамен</b>	<b>45</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание 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			Занятия лабораторного типа			Всего						
	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная
Часть I																		
Ведение	14			2			-			2			4			10		
Основы теории антенн	61			20			-			20			40			21		
Методы измерения радиотехнических характеристик антенн	33			10						11			21			12		
Промежуточная аттестация – Зачет																		
Часть II																		
Введение	16			2									2			14		
Прямые задачи теории антенных систем: расчет поля антенны по заданной функции амплитудно-фазового распределения по апертуре	46			16									16			30		
Синтез антенн в однородных и неоднородных средах.	46			16									16			30		
Промежуточная аттестация – Экзамен																		
Итого	216			66						33			99			117		

Содержание разделов дисциплины:

#### ЧАСТЬ I.

##### Раздел 1. Введение.

1.1. Краткая историческая справка. Типы антенн, используемых в современных системах радиосвязи.

1.2. Принципы классификации антенных устройств. Внешняя и внутренняя задачи в теории антенн.

### **Раздел 1. Основы теории антенн.**

2.1. Уравнения Максвелла. Потенциалы электромагнитного поля. Электромагнитные поля заданных источников. Понятие дальней промежуточной и ближней зон. Электромагнитные поля системы токов в дальней зоне.

2.2. Основные радиотехнические характеристики антенн: диаграмма направленности, коэффициент направленного действия, коэффициент усиления, эффективная площадь, шумовая температура, сопротивление излучения, полоса частот

2.3. Элементарные излучатели и их основные характеристики: электрический и магнитный диполи Герца, элементарная электрическая рамка, элемент Гюйгенса, элементарный турникетный излучатель.

2.4. Вибраторные антенны. Тонкий электрический вибратор. Постановка задачи и вывод интегрального уравнения Галлена. Приближенные методы решения интегрального уравнения Галлена. Распределение тока и заряда вдоль вибратора. Характеристики симметричного вибратора в режиме излучения (диаграмма направленности, излучаемая мощность, сопротивление излучения, коэффициент направленного действия). Численные методы решения интегрального уравнения Галлена. Электромагнитное поле вблизи вибратора. Метод наводимых ЭДС. Поле излучения пары симметричных вибраторов. Теорема перемножения. Диаграммы направленности систем из двух вибраторов. Собственные и взаимные импедансы вибраторов.

2.5. Линейные излучающие системы. Поле излучения непрерывных и дискретных линейных антенн. Идеальный линейный излучатель. Режимы излучения и основные характеристики (диаграмма направленности, коэффициент направленного действия). Влияние неравномерности амплитудного распределения на характеристики линейного излучателя. Влияние детерминированных фазовых искажений на параметры линейной антенны (линейные, квадратичные и кубические фазовые искажения). Характеристики направленности равномерной линейной антенной решетки.

2.5. Апертурные антенны. Плоские излучающие раскрывы. Связь диаграммы направленности и распределения поля в раскрыве (апертуре) антенны. Характеристики направленности плоских прямоугольных и круглых синфазных раскрывов. Метод эквивалентного линейного излучателя в анализе характеристик плоского раскрыва. Рупорные антенны. Излучение электромагнитных волн из открытого конца прямоугольного волновода. Электромагнитное поле Е- секториальных, Н-секториальных и пирамидальных рупоров.

2.6. Зеркальные антенны. Основные типы зеркальных антенн. Зеркальные параболические антенны. Основные параметры и типы конструкций. Апертурный и токовый методы расчета полей зеркальных антенн. Распределение тока на поверхности параболического зеркала. Распределение поля в апертуре зеркальной антенны. Факторы, влияющие на усиление зеркальной антенны.

### **Раздел 3. Методы измерения радиотехнических характеристик антенн.**

3.1. Сравнительный анализ возможностей и областей применения методов измерений в дальней, промежуточной и ближней зонах антенны.

3.2. Методы измерения в дальней зоне. Особенности применения метода вышки. Схемы измерения амплитудных и фазовых диаграмм направленности. Способы измерения коэффициента усиления антенн.

3.3. Радиоастрономические методы антенных измерений. Методики измерений диаграммы направленности по мощности, коэффициента усиления, шумовой температуры. Возможности корреляционного радиоастрономического способа. Радиологический метод измерения характеристик зеркальных антенн.

- 3.4. Методы и схемы измерений в ближней зоне. Основные соотношения, используемые при обработке результатов.
- 3.5. Специальные методы измерений, направленные на повышение точности определения характеристик антенн.

## **ЧАСТЬ II.**

### **Раздел 1. Введение**

Краткий обзор проблематики курса. Классификация основных задач теории антенн.

### **Раздел 2. Прямые задачи теории антенн**

- 2.1. Постановка задачи. Расчет поля антенны по заданной функции амплитудно-фазового распределения по апертуре.
- 2.2. Ближняя зона, волновая зона и дальняя зона антенны. Диаграмма направленности и связанные с ней интегральные характеристики антенны. Коэффициент направленного действия, эффективная апертура, добротность антенны.

### **Раздел 3. Синтез антенн в однородных и неоднородных средах.**

- 3.1. Синтез антенн как обратная задача теории антенных систем. Синтез линейного излучателя в однородной среде. Постановка задачи синтеза. Необходимые условия существования решения: математические и физические аспекты.
- 3.2. Точные методы синтеза антенн: метод парциальных диаграмм, метод интеграла Фурье.
- 3.3. Приближенные методы синтеза.
- 3.4. Явление сверхнаправленности. Методы регуляризации сверхнаправленных решений задачи синтеза. Функции двойной ортогональности. Некоторые постановки задач синтеза антенн с оптимальными параметрами.
- 3.5. Синтез антенн в многомодовых волноводах. Примеры приложений.
- 3.6. Статистическая теория антенн. Прямые задачи: основные эффекты влияния статистических свойств амплитудно-фазового распределения антенны на характеристики направленности. Обратные задачи: статистический синтез антенн.

Практические занятия (лабораторные занятия) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает: решение практических заданий и задач, организация семинаров по отдельным разделам дисциплины.

На проведение практических занятий (лабораторных занятий) в форме практической подготовки отводится 32 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Математическое и компьютерное моделирование радиоэлектронных устройств и систем с целью оптимизации (улучшения) их параметров

- компетенций: ПК-2.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий лекционного типа, занятий лабораторного типа, групповых или индивидуальных консультаций.

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

Используются следующие 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 и семинарских занятий, а также в процессе экзамена по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, комплекты слайдов, конспекты лекций.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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, без ошибок.	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	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без

			полном объеме.	объеме, но некоторые с недочетами.	недочетами.	все задания в полном объеме.	недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. 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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	<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>зачтено</b>	<b>отлично</b>	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»
	<b>очень хорошо</b>	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»
	<b>хорошо</b>	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»
	<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»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»



## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

### 5.2.1 Контрольные вопросы

#### Вопросы к зачету по дисциплине

<i>вопросы</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
1. Ближняя, промежуточная и дальняя зона антенны. Основные свойства поля в дальней зоне.	ПК-2
2. Основные радиотехнические характеристики антенн – диаграмма направленности (по полю и по мощности), основные параметры ДН, способы представления	ПК-2
3. Основные радиотехнические характеристики антенн – КНД, КУ, КР, КПД, $S_{эфф}$ , $T_{ш}$ , $R_{изл}$	ПК-2
4. Основные характеристики. (ДН, сопротивление излучения, КНД) элементарных излучателей – электрического и магнитного диполей, электрической рамки.	ПК-2
5. Основные характеристик (ДН, сопротивление излучения, КНД) простейших комбинаций элементарных излучателей – однонаправленный излучатель, турникетный излучатель.	ПК-2
6. Тонкий электрический вибратор. Интегральное уравнение Галена и его решение в первом приближении.	ПК-2
7. Характеристики тонкого электрического вибратора - распределение тока и заряда вдоль вибраторных антенн различной длины,	ПК-2
8. Характеристики тонкого электрического вибратора - ДН, КНД, сопротивление излучения симметричных вибраторных антенн различной длины.	ПК-2
9. Численные методы решения уравнения Галена.	ПК-2
10. Поле вблизи поверхности симметричной вибраторной антенны с синусоидальным распределением тока.	ПК-2
11. Способы измерения распределений тока и заряда вдоль вибраторной антенны.	ПК-2
12. Расчет мощности излучения вибраторной антенны методом наводимых ЭДС.	ПК-2
13. Поле в дальней зоне системы из двух вибраторов. Теорема перемножения.	ПК-2
14. ДН системы из двух вибраторных антенн, возможности управления ДН такой системы.	ПК-2
15. Собственные и взаимные импедансы в системе из двух вибраторных антенн, их расчет и применение.	ПК-2
16. Характеристики (ДН, КНД) идеального линейного излучателя при разных режимах излучения.	ПК-2
17. Влияние неравномерности амплитудного распределения и фазовых искажений на характеристики линейной антенны.	ПК-2
18. Характеристики направленности эквидистантной линейной антенной решетки. Способы подавления побочных	ПК-2

максимумов ДН.	
19.Определение понятия апертуры (раскрыва) антенны. Применение теоремы эквивалентности к расчету излучения апертурных антенн. ДН плоского излучающего раскрыва.	ПК-2
20.Характеристики направленности плоского синфазного раскрыва, возбуждаемого линейно поляризованной волной.	ПК-2
21.Характеристики направленности (ДН, КНД) плоских синфазных раскрывов прямоугольной и круглой формы.	ПК-2
22.Метод эквивалентного линейного излучателя в анализе характеристик плоского раскрыва.	ПК-2
23.Характеристики излучения (ДН, КНД) рупорных антенн различных типов и размеров.	ПК-2
24.Зеркальная параболическая антенна, конструкция и принцип работы. Апертурный и токовый способы расчета характеристик.	ПК-2
25.Основные факторы, влияющие на усиление зеркальной антенны (парциальные КИП).	ПК-2
26.Офсетные зеркальные антенны, их преимущества и недостатки.	ПК-2
27.Сферические зеркальные антенны, конструкция и принцип работы.	ПК-2
28.Основные методы антенных измерений, сравнение их возможностей и областей применения.	ПК-2
29.Основные методы измерения КУ антенн.	ПК-2
30.Радиоастрономический метод антенных измерений (традиционный). Измеряемые характеристики антенн и параметры сигналов радиоисточников.	ПК-2
31.Методики и алгоритмы измерения ДН, КУ и Тш радиоастрономическим способом.	ПК-2
32.Корреляционный радиоастрономический метод антенных измерений. Схема реализации и его основные преимущества.	ПК-2
33.Радиоголографический метод измерения характеристик антенн по сигналам внеземных радиоисточников. Назначение, алгоритм реализации, основные требования к проведению измерений.	ПК-2
34.Методы измерения характеристик антенн в ближней зоне. Измеряемые характеристики, алгоритмы измерений, сравнение различных кинематических схем сканирования.	ПК-2
35.Способы уменьшения влияния переотражений на результаты измерения параметров антенн. Импульсные методы антенных измерений, варианты реализации	ПК-2

### Вопросы к экзамену по дисциплине

<i>вопросы</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
1. Постановка прямой задачи теории антенн.	ПК-2
2. Приближенные методы расчета поля антенны по заданной функции амплитудно-фазового распределения по апертуре	ПК-2

(основные уравнения и приближения).	
3. Ближняя зона, волновая зона и дальняя зона антенны (определения, оценки, интерпретация).	ПК-2
4. Диаграмма направленности антенны.	ПК-2
5. Интегральные характеристики антенны: коэффициент направленного действия, добротность, эффективная апертура.	ПК-2
6. Постановка обратной задачи теории антенн.	ПК-2
7. Необходимые условия существования точного решения: математические и физические аспекты.	ПК-2
8. Точные методы синтеза линейного излучателя в однородной среде: метод парциальных диаграмм, метод интеграла Фурье, их взаимосвязь.	ПК-2
9. Постановка задачи приближенного синтеза антенн. Критерий качества решения.	ПК-2
10. Метод приближенного синтеза на основе полиномиальной аппроксимации. Физические ограничения на реализуемость приближенного решения.	ПК-2
11. Явление сверхнаправленности: математические и физические аспекты.	ПК-2
12. Метод регуляризации сверхнаправленных решений задачи синтеза. Функции двойной ортогональности.	ПК-2
13. Постановки задач синтеза антенн с оптимальными параметрами.	ПК-2
14. Уравнения синтеза антенн в многомодовых волноводах. Аналогии с задачей синтеза в свободном пространстве.	ПК-2
15. Классификация задач статистической теории антенн. Основные эффекты влияния статистических свойств амплитудно-фазового распределения антенны на характеристики направленности.	ПК-2
16. Постановки обратной задачи статистической теории антенн. Влияние статистических свойств антенны на регуляризацию сверхнаправленных решений задачи синтеза.	ПК-2

### 5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-2

В каждом из предлагаемых ниже заданий выберите один (правильный по Вашему мнению) ответ из предлагаемых Вам вариантов:

1. Зависимость поля антенны от угловых координат не изменяется при удалении точки наблюдения от антенны:

1) в ближней зоне, 2) в зоне Френеля, 3) в дальней зоне, 4) везде, на любом расстоянии.

2. Расстояние до границы дальней зона антенны длиной  $L$  пропорционально отношению:

1)  $L^3/\lambda^2$ , 2)  $\lambda^3/L^2$ , 3)  $L^2/\lambda$ , 4)  $\lambda^2/L$ , где  $\lambda$  – длина волны.

3. Ширина лепестка диаграммы направленности антенны пропорциональна отношению:

1)  $L/\lambda$ , 2)  $\lambda/L$ , 3)  $(L/\lambda)^2$ , 4)  $(\lambda/L)^2$ , где  $\lambda$  – длина волны,  $L$  – линейный размер антенны.

4. Флуктуации фазового распределения антенны приводят:
- 1) к смещению направления главного максимума диаграммы направленности, 2) к уширению главного максимума, 3) к уширению главного максимума и росту уровня боковых лепестков, 4) к росту числа боковых лепестков диаграммы направленности.
5. С ростом дисперсии флуктуаций фазового распределения антенны ее разрешающая способность:
- 1) растет, 2) уменьшается, 3) остается неизменной.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. [Марков Г. Т., Сазонов Д. М. - Антенны](#): [учеб. для радиотехн. специальностей вузов]. - М.: Энергия, 1975. - 528 с.
2. [Методы измерения характеристик антенн СВЧ](#) / Захарьев Л. Н., Леманский А. А., Турчин В. И., [и др. - М.: Радио и связь, 1985. - 368 с.
3. Гавриленко В.Г., Калинин А.В. Методы измерения характеристик антенн по сигналам внеземных радиоисточников. Электронное учебно-методическое пособие, Нижний Новгород, Нижегородский госуниверситет, 2012 – 58 с. Режим доступа: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/antenna.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/antenna.pdf)
4. [Зелкин Е. Г., Соколов В. Г. - Методы синтеза антенн: фазир. антен. решетки и антенны с непрерыв. раскрытием](#). - М.: Советское радио, 1980. - 294 с.
5. [Хургин Я. И., Яковлев В. П. - Финитные функции в физике и технике](#). - М.: Наука, 1971. - 408 с.
6. [Шифрин Я. С. - Вопросы статистической теории антенн](#). - М.: Советское радио, 1970. - 383 с.

б) дополнительная литература:

1. Проблемы антенной техники /Бахрах Л. Д., Бей Н. А., Братчиков А. Н., [и др. - М.: Радио и связь, 1989. - 368 с.
2. Talanov V. I. Synthesis of antennas in multimode waveguides //Radiophysics and Quantum Electronics. – 1985. – Т. 28. – №. 7. – С. 599-605. DOI: 10.1007/BF01034103. Режим доступа: по подписке ННГУ.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

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» и уровню высшего образования Специалитет (утвержден приказом Минобрнауки России от 09.02.2018 № 95).

Авторы: к.ф.-м.н. А.И. Малеханов, д.т.н., снс А.В. Калинин

Рецензент: к.ф.-м.н., доцент И.Ю. Грязнова

Заведующий кафедрой электродинамики: д.ф.-м.н., профессор Кудрин А.В.

Заведующий кафедрой распространения  
радиоволн и радиоастрономии: д.т.н., снс А.В. Калинин

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «09» декабря 2021 года, протокол № 07/21.