

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 ученого совета ННГУ  
протокол от  
«20» апреля 2021г. № 1

**Рабочая программа дисциплины**

Б1.О.20 «Антенны и распространение  
радиоволн»

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
специалитет

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы  
Системы подвижной цифровой защищенной связи

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2021 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Антенны и распространение радиоволн» относится к дисциплинам обязательной части основной образовательной программы по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

<b>№ варианта</b>	<b>Место дисциплины в учебном плане образовательной программы</b>	<b>Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД</b>
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина Б1.О.20 «Антенны и распространение радиоволн» относится к обязательной части ООП специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

<b>Формируемые компетенции</b> (код, содержание компетенции)	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции</b>		<b>Наименование оценочного средства</b>
	<b>Индикатор достижения компетенции</b> (код, содержание индикатора)	<b>Результаты обучения по дисциплине</b>	
ОПК-11. Способен применять положения теории в области электрических цепей, радиотехнических сигналов, распространения радиоволн, кодирования, электрической связи, цифровой обработки сигналов для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-11.1. Знает: - физические основы излучения и распространения радиоволн в различных средах - особенности распространения радиоволн различных диапазонов частот	Знать: - основы теории антенн - методы измерения радиотехнических характеристик антенн - особенности распространения радиоволн вдоль земной поверхности и в околоземном пространстве	Собеседование
	ОПК-11.2. Умеет: - строить и изучать математические модели систем передачи информации для решения расчетных и исследовательских задач - рассчитывать типовые параметры трасс распространения радиоволн	Уметь: - разрабатывать и анализировать математические модели канала связи с учётом характеристик антенных устройств и среды распространения радиоволн - рассчитывать параметры трасс распространения радиоволн в различных частотных диапазонах и при различных геофизических условиях	Собеседование

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения	очно-заочная форма обучения	заочная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>4 ЗЕТ</b>		
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>		
<b>в том числе</b>			
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>			
- занятия лекционного типа	32		
- занятия семинарского типа ( практические занятия / лабораторные работы)	16		
<b>самостоятельная работа</b>	<b>40</b>		
<b>КСР</b>	<b>2</b>		
<b>Промежуточная аттестация – экзамен/зачет</b>	<b>экзамен 54</b>		

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	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	
Введение	5	2	1		3	2
Основы теории антенн	28	12	6		18	10
Методы измерения радиотехнических характеристик антенн	12	4	2		6	6

Распространение радиоволн вдоль земной поверхности	12	4	2		6	6
Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера	7	2	1		3	4
Распространение радиоволн в ионосфере	18	6	3		9	9
Распространение радиоволн в тропосфере	6	2	1		3	3
Итого:	88	32	16		48	40

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

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы;
- выполнение домашних заданий (решение типовых задач).

Текущий контроль усвоения материала проводится путем проведения опроса.

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
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие	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	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	отказа обучающегося от ответа			негрубых ошибок	х ошибок		
<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 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>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>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.**

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

20. Характеристики направленности плоского синфазного раскрыва, возбуждаемого линейно поляризованной волной.	ОПК-11
21. Характеристики направленности (ДН, КНД) плоских синфазных раскрывов прямоугольной и круглой формы.	ОПК-11
22. Метод эквивалентного линейного излучателя в анализе характеристик плоского раскрыва.	ОПК-11
23. Характеристики излучения (ДН, КНД) рупорных антенн различных типов и размеров.	ОПК-11
24. Зеркальная параболическая антенна, конструкция и принцип работы. Апертурный и токовый способы расчета характеристик.	ОПК-11
25. Основные факторы, влияющие на усиление зеркальной антенны (парциальные КИП).	ОПК-11
26. Офсетные зеркальные антенны, их преимущества и недостатки.	ОПК-11
27. Сферические зеркальные антенны, конструкция и принцип работы.	ОПК-11
28. Основные методы антенных измерений, сравнение их возможностей и областей применения.	ОПК-11
29. Основные методы измерения КУ антенн.	ОПК-11
30. Радиоастрономический метод антенных измерений (традиционный). Измеряемые характеристики антенн и параметры сигналов радиоисточников.	ОПК-11
31. Методики и алгоритмы измерения ДН, КУ и Тш радиоастрономическим способом.	ОПК-11
32. Корреляционный радиоастрономический метод антенных измерений. Схема реализации и его основные преимущества.	ОПК-11
33. Радиоголографический метод измерения характеристик антенн по сигналам внеземных радиоисточников. Назначение, алгоритм реализации, основные требования к проведению измерений.	ОПК-11
34. Методы измерения характеристик антенн в ближней зоне. Измеряемые характеристики, алгоритмы измерений, сравнение различных кинематических схем сканирования.	ОПК-11
35. Способы уменьшения влияния переотражений на результаты измерения параметров антенн. Импульсные методы антенных измерений, варианты реализации.	ОПК-11
36. Распространение радиоволн в свободном пространстве.	ОПК-11
37. Отражение радиоволн от плоской границы раздела двух сред.	ОПК-11
38. Излучение радиоволн элементарным электрическим диполем, расположенным вблизи земной поверхности.	ОПК-11
39. Функция ослабления. Численное расстояние.	ОПК-11
40. Отражение радиоволн от шероховатой поверхности.	ОПК-11
41. Дифракция радиоволн на крае плоского экрана. Приближение Кирхгофа.	ОПК-11
42. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в дальней зоне.	ОПК-11
43. Распространение радиоволн ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера. Поле в ближней зоне.	ОПК-11
44. Распространение электромагнитных волн в холодной изотропной плазме.	ОПК-11
45. Распространение радиоволн в однородной магнитоактивной плазме.	ОПК-11

46. Распространение радиоволн в неоднородной изотропной плазме.	ОПК-11
47. Распространение радиоволн в неоднородной магнитоактивной плазме	ОПК-11
48. Распространение радиоволн в тропосфере.	ОПК-11

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. М.: Энергия, 1975. —528с.
2. Захарьев Л.Н., Леманский А.А., Турчин В.И., Цейтлин Н.М., Щеглов К.С. Методы измерения характеристик антенн СВЧ. /Под ред. Н.М.Цейтлина. – М. Радио и связь, 1985.– 368с.
3. Гавриленко В.Г., Калинин А.В. Методы измерения характеристик антенн по сигналам внеземных радиоисточников. Электронное учебно-методическое пособие, Нижний Новгород, Нижегородский госуниверситет, 2012-58с.
4. Зелкин Е. Г., Соколов В. Г. - Методы синтеза антенн: фазир. антен. решетки и антенны с непрерыв. раскрытом. - М.: Советское радио, 1980. - 294 с.
5. Хургин Я. И., Яковлев В. П. - Фinitные функции в физике и технике. - М.: Наука, 1971. - 408 с.
6. Шифрин Я. С. - Вопросы статистической теории антенн. - М.: Советское радио, 1970. - 383 с.
7. Фейнберг Е.Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. – М.: Наука : Физматлит, 1999 – 496 с.
8. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. – М.: Сов. Радио, 1972 – 464 с.
9. Грудинская Г.П. Распространение радиоволн. М.: Высшая школа, 1975 – 280 с.
10. Яковлев О.И., Якубов В.П., Урядов В.П., Павельев А.Г. Распространение радиоволн. Ленанд, 2009 – 496 с.
11. Гинзбург В.Л. Электромагнитные волны в плазме. М.: Наука, 1967 – 685 с.
12. Гершман Б.Н., Ерухимов Л.М., Яшин Ю.Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. – М.: Наука, 1984 392 с.
13. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. – М.: Мир, 1973 – 502 с.
14. Колосов М.А., Арманд Н.А., Яковлев О.И. Распространение радиоволн при космической связи. – М.: Связь, 1969 – 156 с.

б) дополнительная литература:

1. Я.Н.Фельд, Л.С.Бененсон Основы теории антенн. 2-изд., М., Дрофа, 2007г., 491с.
2. Проблемы антенной техники./Бахрах Л. Д., Бей Н. А., Братчиков А. Н., [и др. - М.: Радио и связь, 1989. - 368 с.
3. Talanov V. I. Synthesis of antennas in multimode waveguides //Radiophysics and Quantum Electronics. – 1985. – Т. 28. – №. 7. – С. 599-605.
4. DOI: 10.1007/BF01034103
5. Макаров Г.И., Новиков В.В., Рыбачек С.Т. Распространение электромагнитных волн над земной поверхностью. – М.: Наука, 1991 – 196 с.
6. Кашпровский В.Е., Кузубов Ф.А. Распространение средних радиоволн земным лучом. – М.: Связь, 1971 – 200 с.
7. М.А.Колосов, А.В.Шабельников. Рефракция электромагнитных волн в атмосфере Земли, Венеры и Марса. – М.: Советское радио, 1976 – 220 с.



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

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и 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 специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Автор (ы) \_\_\_\_\_ А.В. Калинин

\_\_\_\_\_ В.А. Яшнов

Заведующий кафедрой распространения  
радиоволн и радиоастрономии \_\_\_\_\_

А.В. Калинин

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «23» марта 2021 года, протокол № 2/21.