

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
радиотехники и компьютерных  
технологий**

**А.В. Дворкович**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Теория и техника антенн
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра радиофизики и технической кибернетики
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 45 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Ю.В. Кривошеев, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры радиофизики и технической кибернетики 09.04.2020

## Аннотация

Данная дисциплина служит для знакомства студентов с основами антенной техники. Описывается назначение и области применения антенн. Вводятся основные параметры антенн. Рассматриваются общие закономерности, свойственные антеннам независимо от их типа. Далее рассматривается принцип работы и основные характеристики антенн следующих типов: антенны бегущей волны, вибраторные, печатные, волноводно-щелевые, зеркальные, линзовые, рупорные, частотно-независимые.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

изучение основ теории и техники современных антенн (ТТА).

#### Задачи дисциплины

- приобретение теоретических знаний о назначении антенн применительно к системам радиолокации и радиосвязи и их основных характеристиках;
- освоение базовых знаний в области физического моделирования антенн;
- приобретение навыков анализа и синтеза современных антенн разных конструкций и оценки их характеристик.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ основные понятия теории и техники антенн;
- ☐ порядки численных величин, основных характеристик антенн;
- ☐ типы современных антенн и области их применения;
- ☐ современные проблемы теории и техники антенн.

уметь:

- ☐ пользоваться своими знаниями для решения задач теории и техники антенн;
- ☐ производить численные оценки;
- ☐ эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- ☐ основными методами моделирования антенн и расчета их характеристик;
- ☐ навыками самостоятельной работы в Интернете;
- ☐ навыками грамотной обработки результатов численного эксперимента и сопоставления с теоретическими данными.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Антенны бегущей волны	3			2
2	Антенные системы и их назначение	3			4
3	Вибраторные и печатные антенны	2			4
4	Волноводно-щелевые антенны	3			3
5	Зеркальные антенны	5			5
6	Линзовые антенны	5			5
7	Общие свойства апертурных антенн	5			5
8	Основные соотношения электродинамики в теории антенн. Методы математического моделирования антенн	5			4
9	Основные характеристики антенн	5			3
10	Перспективы развития антенной техники	3			3
11	Рупорные антенны	3			3
12	Частотно-независимые антенны	3			4
Итого часов		45			45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

###### 1. Антенны бегущей волны

ДН идеального линейного излучателя. Ширина главного лепестка. Условие Хансена-Вудворда. Типы антенн бегущей волны: диэлектрический стержень, ребристо-стержневая антенна, антенна Уда-Яги, спираль.

## 2. Антенные системы и их назначение

Определение антенны. Область применения антенн. Задачи, решаемые антеннами в системах радиолокации и радиосвязи. Типы антенн. Проблемы теории и техники антенн.

## 3. Вибраторные и печатные антенны

Электрический вибратор. Распределение тока в вибраторе. ДН симметричного вибратора. Турникетный вибратор.

Микрополосковые линии передачи.

Печатные антенны. Структура поля в печатном излучателе. ДН, уровень кросс-поляризации. Получение круговой поляризации.

## 4. Волноводно-щелевые антенны

Излучение одиночной щели. Резонансные и нерезонансные волноводно-щелевые антенны. Частотное сканирование. Эффект нормали.

## 5. Зеркальные антенны

Однозеркальные антенны с параболическим рефлектором. Основные геометрические параметры. Симметричная и несимметричная антенны, основные различия. Облучатели зеркальных антенн. Механическое сканирование. Моноимпульсная схема.

Антенна со сферическим зеркалом, с зеркалом в виде параболического тороида, с зеркалом специальной формы.

Двухзеркальные антенны. Схемы Кассегрена и Грегори. Эффективный параболоид. Схемы Драгоне, АДЭ, АДГ.

## 6. Линзовые антенны

Линзы из однородного диэлектрика. Расчет поверхностей линзы. Механическое сканирование с помощью смещения облучателя.

Линзы из неоднородного диэлектрика.

Металлопластинчатые и волноводные линзы.

Зонирование. Влияние зонирования на частотные характеристики антенны.

Потери в линзах: отражение, потери в диэлектрике, перелив, неравномерное амплитудное распределение.

## 7. Общие свойства апертурных антенн

Излучение прямоугольной и круглой апертуры. Равномерное и спадающее амплитудное распределение. Постоянное и линейное фазовое распределение, фазовые ошибки.

Поле в ближней зоне апертурной антенны. Зона Френеля и зона Фраунгофера.

Максимальный КНД апертурной антенны.

Эквивалентный линейный излучатель.

## 8. Основные соотношения электродинамики в теории антенн. Методы математического моделирования антенн

Уравнения Максвелла и уравнение Гельмгольца. Формула Кирхгофа-Гельмгольца. Приближение Кирхгофа.

Спектр плоских волн.

Геометрическая оптика как асимптотическое решение уравнения Гельмгольца. Уравнения эйконала и переноса. Каустики. Границы применимости ГО.

Основы геометрической теории дифракции. Краевые волны различных типов. Структура поля зеркальной антенны в приближении ГТД.

Основы физической оптики и физической теории дифракции.

Применение основных соотношений электродинамики для анализа и синтеза антенн.

## 9. Основные характеристики антенн

Диаграмма направленности как характеристика поля произвольной антенны в дальней зоне. Параметры, характеризующие ДН. Фазовая и поляризационная ДН.

Коэффициент направленного действия. Коэффициент усиления. Коэффициент использования поверхности.

Эквивалентность ДН на приём и передачу. Эквивалентная площадь. Шумовая температура антенны.

## 10. Перспективы развития антенной техники

Интегрированные волноводы (SIW) и построение антенн на их основе. Антенны на основе метаматериалов. Печатные линзы и отражательные решётки.

## 11. Рупорные антенны

Излучение открытого конца волновода.

Рупоры Е- и Н-секториальные, пирамидальные, конические. Оптимальные рупоры. Многомодовые рупоры. Гофрированные рупоры с продольным и поперечным гофрированием.

## 12. Частотно-независимые антенны

Принципы построения частотно-независимых антенн. Логопериодические антенны, антенны Вивальди, широкополосные рупорные антенны.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Антенны и устройства СВЧ [Текст] : учебник для вузов / Д. М. Сазонов .— М. : Высшая школа, 1988 .— 432 с.
2. Антенны [Текст] : учебник для вузов / Г. Т. Марков, Д. М. Сазонов .— М. : Энергия, 1975 .— 528 с.

### Дополнительная литература

1. Проектирование фазированных антенных решеток [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. Д. И. Воскресенского .— 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Радиотехника, 2012 .— 744 с
2. Антенны с обработкой сигнала [Текст] : учеб. пособие для вузов / Д. И. Воскресенский .— М. : САЙНС-ПРЕСС, 2002 .— 80 с.
3. Антенны УКВ [Текст]. В 2 ч. Ч. 1/Г. З. Айзенберг, В. Г. Ямпольский, О. Н. Терешин , -М., Связь, 1977
4. Антенны УКВ [Текст]. В 2 ч. Ч. 2/Г. З. Айзенберг, В. Г. Ямпольский, О. Н. Терешин , -М., Связь, 1977
5. Thomas A. Milligan. Modern antenna design, 2nd ed. – John Wiley & Sons, 2005.

**7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. <http://lib.mipt.ru> – электронная библиотека Физтеха.
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> – библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
4. [antenna-theory.com](http://antenna-theory.com)

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Мультимедийные технологии, презентации PowerPoint.

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса «Теория и техника антенн» требует активной работы студента на лекциях, а также самостоятельной работы.

Самостоятельная работа включает в себя проработку учебного материала по конспектам лекций и рекомендованной литературе, решение предлагаемых на лекциях задач, подготовку к проверочным работам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов проверочных работ, а также индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение ставить и решать задачи анализа и синтеза антенн.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра радиофизики и технической кибернетики
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** Ю.В. Кривошеев, канд. техн. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория и техника антенн» обучающийся должен:

### знать:

- ☐ основные понятия теории и техники антенн;
- ☐ порядки численных величин, основных характеристик антенн;
- ☐ типы современных антенн и области их применения;
- ☐ современные проблемы теории и техники антенн.

### уметь:

- ☐ пользоваться своими знаниями для решения задач теории и техники антенн;
- ☐ производить численные оценки;
- ☐ эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

- ☐ основными методами моделирования антенн и расчета их характеристик;
- ☐ навыками самостоятельной работы в Интернете;
- ☐ навыками грамотной обработки результатов численного эксперимента и сопоставления с теоретическими данными.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примеры заданий контрольных работ:

1. Дать расшифровку и определение (формулу) для КНД.



2. Дать расшифровку и определение (формулу) для ЭИИМ.
3. Квадратная апертура размером 50 см x 50 см имеет КИП 100%. Частота 10 ГГц. Определить ширину луча и УБЛ.
4. КУ антенны равен 30 дБи. На вход антенны подаётся мощность 50 Вт. Точка наблюдения находится на расстоянии 10 км и попадает в боковой лепесток с уровнем -20 дБ. Определить плотность потока энергии в точке наблюдения.

Критерии выставления оценки по контрольной работе (по 10-бальной шкале). Оценка равна 10 минус 2 балла за каждую нерешённую задачу и минус 1 балл за каждую частично решённую задачу.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета:

1. Определение антенны. Приёмные и передающие антенны. Типы антенн.
2. Диаграмма направленности антенны. Параметры, характеризующие ДН. Фазовая и поляризационная ДН.
3. Коэффициент направленного действия. Коэффициент усиления. Коэффициент использования поверхности. Эквивалентная площадь.
4. Эквивалентность ДН на приём и передачу. Шумовая температура антенны.
5. Уравнение Гельмгольца как следствие уравнений Максвелла. Однородное уравнение Гельмгольца. Формула Кирхгофа-Гельмгольца.
6. Приближение Кирхгофа. Спектр плоских волн.
7. Геометрическая оптика как асимптотический метод решения уравнения Гельмгольца. Уравнения эйконала и переноса. Каустики.
8. Основы геометрической теории дифракции. Краевые волны различных типов. Структура поля зеркальной антенны в приближении ГТД.
9. Основные положения физической оптики и физической теории дифракции.
10. Диаграмма направленности прямоугольной синфазной апертуры.
11. Диаграмма направленности круглой синфазной апертуры.
12. Максимальный коэффициент направленного действия апертурной антенны.
13. Поле в ближней зоне апертурной антенны. Зона Френеля и зона Фраунгофера.
14. Эквивалентный линейный излучатель.
15. Электрический вибратор. Распределение тока в вибраторе. Диаграмма направленности симметричного вибратора. Турникетный вибратор.
16. Микрополосковые линии передачи. Печатные антенны. Структура поля в печатном излучателе. ДН, уровень кросс-поляризации.
17. Излучение одиночной щели. Резонансные и нерезонансные волноводно-щелевые антенны. Частотное сканирование.
18. Принципы построения частотно-независимых антенн. Логопериодические антенны.
19. ДН идеального линейного излучателя. Ширина главного лепестка. Условие Хансена-Вудворда.
20. Типы антенн бегущей волны. Принцип работы и основные параметры.
21. Излучение из открытого конца прямоугольного и круглого волноводов. Диаграмма направленности открытого конца прямоугольного волновода.
22. Рупорные антенны. Е- и Н-секториальные, пирамидальные и конические рупоры. Оптимальные рупоры.
23. Многомодовые рупоры. Рупор Поттера. Гофрированные рупоры с продольным и поперечным гофрированием.
24. Линзы из однородного диэлектрика. Профиль линзы с одной преломляющей поверхностью. Зонирование.
25. Линзы из неоднородного диэлектрика.
26. Металлопластинчатые и волноводные линзы. Профиль поверхности. Зонирование.
27. Однозеркальные антенны с параболическим рефлектором. Основные геометрические параметры. Симметричная и несимметричная антенны.

28. Облучатели зеркальных антенн. Кросс-поляризация в симметричной и несимметричной антеннах.
29. Двухзеркальные антенны. Схемы Кассегрена и Грегори. Основные преимущества.
30. Перспективы развития антенной техники.

Примеры билетов для проведения дифференцированного зачёта:

#### Билет 1

1. Определение антенны. Приёмные и передающие антенны. Типы современных антенн.
2. Электрический вибратор. Распределение тока в вибраторе. Диаграмма направленности полуволнового вибратора. Турникетный вибратор.

#### Билет 2

1. Определение диаграммы направленности. Основные параметры диаграммы направленности. Виды диаграмм направленности. Поляризационная характеристика. Фазовая диаграмма направленности.
2. Принципы построения частотно-независимых антенн.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

При проведении зачета обучающемуся предоставляется 45 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также конспектами лекций.