

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  В.А. Небольсин

«31» августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины (модуля)

«Электродинамика и распространение радиоволн»

Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Направленность 05.12.07 - Антенны, СВЧ устройства и их технологии

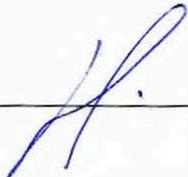
Квалификация выпускника Исследователь. Преподаватель-исследователь

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения Очная

Год начала подготовки 2020 г.

Автор программы

 /Володько А.В./

Заведующий кафедрой  
радиоэлектронных устройств  
и систем

 /Журавлёв Д.В./

Руководитель ОПОП

 /Пастернак Ю.Г./

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Формирование у обучающихся (будущих специалистов) теоретических и практических знаний в области электродинамики и распространения радиоволн.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

- Ознакомление с основными законами электродинамики, уравнениями Максвелла, теорией электромагнитных полей и плоских волн (это облегчит понимание принципов распространения радиоволн в различных условиях);

- Изучение электромагнитных свойств реальных сред, в которых свободно распространяются радиоволны (от этих свойств зависят условия распространения);

- Изучение законов свободного распространения радиоволн различных диапазонов вдоль земной поверхности, в атмосфере и космическом пространстве (здесь закладывается общая теоретическая база для расчёта и проектирования конкретных радиолиний Земля-Земля, Земля-космический аппарат).

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Электродинамика и распространение радиоволн» относится к дисциплинам обязательной части блока Б.1 учебного плана.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Радиотехнические системы» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-4 - готовностью организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности;

ПК-2 - владением методами электродинамического анализа волновых процессов в различных средах и направляющих структурах;

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-4	знать основные методы организации работы научно-исследовательского коллектива в области электродинамики.
	уметь организовывать работу научно-исследовательского коллектива в области электродинамики
	владеть навыком распределения ролей и задач в научно-исследовательском коллективе при изучении проблем в области электродинамики

ПК-2 владением методами электродинамического анализа волновых процессов в различ- ных средах и направ- ляющих структурах	знать основные положения и принципы электроди- намического анализа волновых процессов в различ- ных средах и направляющих структурах
	уметь применять методы анализа волновых процес- сов в различных средах и направляющих структурах
	владеть навыком решения практических задач ана- лиза волновых процессов в различных средах и направляющих структурах

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Электродинамика и распространение радиоволн» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		4			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	18	18			
В том числе:					
Лекции	18	18			
Практические занятия (ПЗ)	-	-			
Лабораторные работы (ЛР)	-	-			
<b>Самостоятельная работа</b>	90	90			
Курсовой проект	-	-			
Контрольная работа	-	-			
Вид промежуточной аттестации – зачет с оценкой	+	+			
Общая трудоемкость	час	108	108		
	зач. ед.	3	3		

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Основы электродинамики	Введение. Содержание курса. Его место в подготовке радиоинженеров. Электромагнитное поле (ЭМП) как физическая реальность. История развития предмета. Роль понятия ЭМП в решении философских проблем естествознания. Природа электромагнитных волн (ЭМВ). Экспериментальная основа электродинамики. Роль электродинамики в эпоху НТП. Основные уравнения электродинамики. Дифференциальные уравнения Максвелла для вихрей напряженности электрического и магнитного поля. Дифференциальные уравнения Максвелла для расходимости электрической и магнитной индукции. Гипотеза Максвелла о токе смещения. Полная система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной форме. Роль гипотезы Максвелла о токе смещения в развитии идей электродинамики. Материальные уравнения в электродинамике.	3			15	18
2	Принципы электродинамики	Локальный баланс энергии ЭМП. Дифференциальный закон Джоуля – Ленца. Излучение электромагнитной энергии. Вектор Пойнтинга. Плотность энергии ЭМП. Баланс энергии ЭМП для объема конечных размеров. Частные случаи баланса с учетом и без учета сторонних источников. Энергетические характеристики гармонического ЭМП, усредненные за период. Комплексный вектор Пойнтинга. Баланс энергии гармонического поля. Физическое содержание баланса активной и реактивной мощностей. Принцип суперпозиции ЭМП. Принцип единственности решений для внутренней и внешней задач электродинамики. Принцип перестановочной двойственности. Практическое значение данных принципов. Принцип взаимности разделенных источников, его связь с проблемой электромагнитной совместимости. Обобщенная задача об излучении ЭМВ. Принцип Гюйгенса – Кирхгофа. Электрический диполь. Диполь Герца и его техническая реализация. Полное ЭМП электрического диполя на произвольном удалении от излучателя. Поле электрического диполя в ближней, промежуточной и дальней зоне. Диаграмма направленности поля. Полная средняя мощность излучения диполя. Электрический диполь и реальные проволочные антенны. Магнитный диполь и его технические аналоги. Применение принципа перестановочной двойственности для анализа поля магнитного диполя. Поле магнитного диполя в дальней зоне.	3			15	18
3	Распространение волн в безграничных средах	Понятие плоской, однородной и неоднородной волн. Плоские волны как решение однородного волнового уравнения. Гармонические волны. Виды поляризации волн: линейная, круговая, эллиптическая. Постоянная распространения плоской волны в изотропной среде. Скорость распространения волны: фазовая и групповая. Волновое сопротивление среды. Особенности распространения ЭМВ в среде с потерями: зату-	3			15	18

		<p>хание волн, дисперсия, фазовый сдвиг между электрической и магнитной компонентами. Особенности распространения ЭМВ в анизотропных средах. Природа анизотропии газовых, жидких и твердых сред. Тензор диэлектрической и магнитной проницаемости. Продольное распространение ЭМВ в намагниченном ферромагнетике. Эффект Фарадея, его невязимость. Техническое приложение эффекта Фарадея. Поперечное распространение ЭМВ в намагниченном ферромагнетике. Эффект двойного лучепреломления. Свойства обыкновенной и необыкновенной волн. Эффект Коттона – Муттона. Технические устройства, использующие поперечное распространение ЭМВ в намагниченном ферромагнетике. Анизотропия намагниченной плазмы для наклонно распространяющейся волны. Соотношение компонент электрического поля для наклонной волны.</p>					
4	<b>Взаимодействие волн с границей раздела сред</b>	<p>Поведение касательных и нормальных составляющих векторов <math>E</math> и <math>H</math> на границе раздела сред. Физическая трактовка эффекта взаимодействия электромагнитной волны с поверхностью раздела двух сред. Закон Снеллиуса. Формулы Френеля для комплексных коэффициентов отражения и преломления волны. Преломление электромагнитной волны на границе поглощающей среды. Скин-эффект. Приближенные граничные условия Леонтовича, их практическое использование. Условие полного прохождения волны через границу раздела сред. Угол Брюстера. Условие полного внутреннего отражения волны от границы раздела сред. Критический угол падения. Техническое применение условий полного прохождения и преломления волн. Взаимодействие электромагнитной волны с движущейся границей раздела сред. Эффект Доплера, его использование в технике</p>	3			15	18
5	<b>Теория направляемых волн</b>	<p>Структура ЭМП между параллельными металлическими плоскостями при горизонтальной и вертикальной поляризации волны. Критические частоты волновода. Основной и высшие типы волн. Фазовая и групповая скорости собственных волн плоского полого металлического волновода. Классификация направляемых волн. Общие свойства направляемых волн. Затухание волн в волноводах. Экономические аспекты проблемы дальней передачи энергии по волноводам. Электромагнитные волны в прямоугольном металлическом волноводе. <math>E</math> и <math>H</math>-волны в прямоугольном волноводе. Критические частоты. Общие свойства собственных колебаний объемных резонаторов. Режим стоячих волн в волноводе. Объемный резонатор как отрезок регулярного волновода. Собственные частоты резонатора. Затухание колебаний. Добротность объемного резонатора. Спектр собственных частот прямоугольного металлического резонатора. Вырождение колебаний. Основной и высшие типы колебаний. Добротность прямоугольного резонатора. Структура поля низших типов колебаний. Спектр собственных колебаний цилиндрического резонатора. Основной и высшие типы колебаний. Добротность цилиндрического резонатора.</p>	3			15	18
6	<b>Распространение волн в околоземном про-</b>	<p>Влияние поверхности и атмосферы Земли на распространения радиоволн. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов. Формула идеальной радиопередачи. Определение мощности в приемной антенне по мощно-</p>	3			15	18

	странстве	<p>сти, подводимой к передающей антенне. Область пространства, существенная в работе радиолинии, зоны Френеля Электрические параметры земной поверхности: различных почв, морской и пресной воды.</p> <p>Поглощение радиоволн земной поверхностью. Коэффициент отражения на границе раздела воздух-почва при различных видах поляризации волны. Предел прямой видимости, зоны полутени и тени. Интерференционные формулы при направленных и ненаправленных антеннах. Формула Введенского. Метод учета сферичности Земли. Влияние неровности земной поверхности на поле земных волн. Строение ионосферы. Процессы ионизации и рекомбинации. Распределение свободных электронов в реальной ионосфере. Средние закономерности изменения структуры ионосферы и ее аномальные изменения. Влияние 11-летнего цикла. Спорадические слои. Неоднородная тонкая структура ионосферы. Искажение сигналов при дисперсии в ионосфере. Поглощение радиоволн и нелинейные свойства ионизированного газа. Преломление и отражение радиоволн в неоднородной ионосфере, двойное лучепреломление. Критические и максимальные применимые частоты.</p>					
<b>Итого</b>		<b>18</b>			<b>90</b>	<b>108</b>	

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Не предусмотрено учебным планом

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-4	знать основные методы организации работы научно-исследовательского коллектива в области электродинамики.	Отвечает на теоретические вопросы при промежуточной аттестации	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь организовывать работу научно-исследовательского коллектива в области электродинамики	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыком распределения ролей и задач в научно-исследовательском коллективе при изучении проблем в области электродинамики	Решение прикладных задач в конкретной предметной области,	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-2 владением методами электродинамического анализа волновых процессов в различных средах и направляющих структурах	знать основные положения и принципы электродинамического анализа волновых процессов в различных средах и направляющих структурах	Отвечает на теоретические вопросы при промежуточной аттестации	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять методы анализа волновых процессов в различных средах и направляющих структурах	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыком решения практических задач анализа волновых процессов в различных средах и направляющих структурах	Решение прикладных задач в конкретной предметной области,	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

## 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4 семестре для очной и заочной формы по системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ОПК-4	знать основные методы организации работы научно-исследовательского коллектива в области электродинамики.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь организовывать работу научно-исследовательского коллектива в области электродинамики	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	владеть навыком распределения ролей и задач в научно-исследовательском коллективе при изучении проблем в области электродинамики	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
ПК-2	знать основные положения и принципы электродинамического анализа волновых процессов в различных средах и направляющих структурах	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

турах	ющих структурах					
	уметь применять методы анализа волновых процессов в различных средах и направляющих структурах	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	владеть навыком решения практических задач анализа волновых процессов в различных средах и направляющих структурах	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Какие экспериментальные законы положены в основу современной теории ЭМП?

- а) законы термодинамики и сохранения кинетической энергии;
- б) законы Фарадея, Ампера, Гаусса;
- в) законы Ома и Кирхгофа.

2. Какой смысл имеет оператор «rot H» в уравнениях Максвелла?

- а) вихрь магнитного поля;
- б) извлечение корня квадратного значения модуля напряженности магнитного поля;
- в) оператор инверсии вращения направления магнитного поля.

3. Согласно положению Максвелла, ток смещения это:

- а) ток, возникающий при наличии свободных зарядов (проводимости) материала;
- б) изменение индукции электрического поля во времени;
- в) такого тока нет.

4. Что означает вектор E в уравнениях Максвелла?

- а) Индукцию электрического поля;
- б) Индукцию магнитного поля;
- в) Напряженность электрического поля;
- г) Напряженность магнитного поля.

5. 4. Что означает вектор  $\mathbf{H}$  в уравнениях Максвелла?

- а) Индукцию электрического поля;
- б) Индукцию магнитного поля;
- в) Напряженность электрического поля;
- г) Напряженность магнитного поля.

6. Что означает вектор  $\mathbf{D}$  в уравнениях Максвелла?

- а) Индукцию электрического поля;
- б) Индукцию магнитного поля;
- в) Напряженность электрического поля;
- г) Напряженность магнитного поля.

7. Что означает вектор  $\mathbf{B}$  в уравнениях Максвелла?

- а) Индукцию электрического поля;
- б) Индукцию магнитного поля;
- в) Напряженность электрического поля;
- г) Напряженность магнитного поля.

8. Почему дивергенция индукции магнитного поля всегда равна нулю, а дивергенция электрического поля может быть отлична от нуля?

- а) Потому что силовые линии магнитного поля всегда замкнуты;
- б) Потому что электрические заряды есть в природе, а электрических зарядов в природе нет;
- в) ответы А и Б верны;
- г) верных ответов нет.

9. В уравнении  $\vec{D} = \epsilon_a \vec{E}$  множитель  $\epsilon_a$  означает:

- а) относительную диэлектрическую проницаемость среды;
- б) относительную магнитную проницаемость среды;
- в) абсолютную диэлектрическую проницаемость среды;
- г) абсолютную магнитную проницаемость среды.

10. В уравнении  $\vec{B} = \mu_a \vec{H}$  множитель  $\mu_a$  означает:

- а) относительную диэлектрическую проницаемость среды;
- б) относительную магнитную проницаемость среды;
- в) абсолютную диэлектрическую проницаемость среды;
- г) абсолютную магнитную проницаемость среды.

11. Линейной средой распространения электромагнитной волны называется:

- а) среда, расположенная вдоль линии радиосвязи;
- б) среда, параметры которой не зависят от амплитуды электрического и магнитного полей;
- в) линейное пространство Эвклида без учета гравитационного искривления метрики пространства;

12. Однородной средой распространения электромагнитной волны называется:

- а) среда, параметры которой не зависят от координат;
- б) стационарная многослойная среда;
- в) среда, параметры которой линейно зависят от координат.

13. Анизотропной средой распространения электромагнитной волны является:

- а) феррит в магнитном поле;
- б) плазма ионосферы в магнитном поле;
- в) оба ответа верны.

14) Направление вектора Пойнтинга показывает:

- а) плоскость поляризации магнитного поля волны;
- б) плоскость поляризации электрического поля волны;
- в) направление распространения энергии электромагнитной волны.

15) Чему равно значение выражения  $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_a \mu_a}}$  для вакуума:

- а) скорости света;
- б) скорости звука;
- в) скорости ударной ионизации плазмы.

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Как изменится сила кулоновского взаимодействия двух точечных зарядов, если расстояние уменьшить в два раза?

- а) Увеличится в 2 раза
- б) Уменьшится в 2 раза
- в) Увеличится в 4 раза
- г) Уменьшится в 4 раза

2. Какими носителями заряда создается ток в металлах?

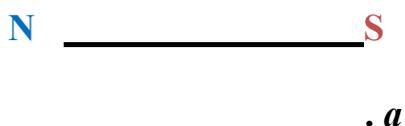
- а) электронами
- б) положительными ионами
- в) отрицательными ионами

г) молекулами

3. Выберите формулу, описывающую закон Ома для полной цепи

- а)  $I=V/R$
- б)  $I=\varepsilon/R+r$
- в)  $I=\varepsilon/r$
- г)  $I=q/t$

4. Как направлен вектор магнитной индукции в точке а?

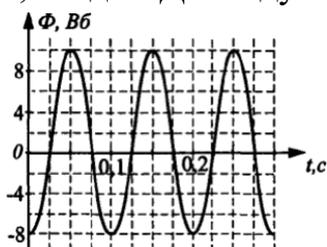


- а) вверх
- б) вниз
- в) вправо
- г) влево

5. Если величину заряда увеличить в 3 раза, а скорость заряда уменьшить в 3 раза, то сила, действующая на заряд в магнитном поле,

- а) не изменится;
- б) увеличится в 9 раз;
- в) уменьшится в 3 раза;
- г) увеличится в 3 раза.

6. По графику зависимости магнитного потока от времени определите момент времени, когда ЭДС индукции в контуре максимальна.



- а) 0,1 с
- б) 250 мкс
- в) 0,05 с
- г) 0,025 с

7. В колебательном контуре после разрядки конденсатора ток исчезает не сразу, а постепенно уменьшается, перезаряжая конденсатор. Это связано с явлением

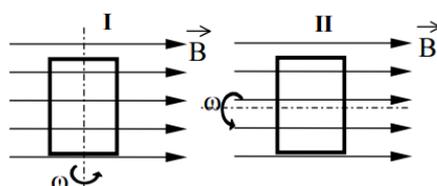
- а) инерции

- б) электрической индукции
- в) самоиндукции
- г) термоэлектронной эмиссии

8. Заряд движется в магнитном поле. Индукция магнитного поля и скорость заряда увеличиваются в 3 раза. Сила, действующая на заряд

- а) увеличится в 3 раза;
- б) уменьшится в 3 раза;
- в) увеличится в 9 раз;
- г) уменьшится в 9 раз.

9. На рисунке показаны два способа вращения рамки в однородном магнитном поле.



Ток в рамке:

- а) возникает в обоих случаях
- б) не возникает ни в одном из случаев
- в) возникает только в первом случае
- г) возникает только во втором случае

8. Какой из перечисленных процессов объясняется явлением электромагнитной индукции

- а) отклонение магнитной стрелки при прохождении по проводу электрического тока;
- б) взаимодействие проводников с током;
- в) появление тока в замкнутой катушке при опускании в нее постоянного магнита;
- г) возникновение силы, действующей на проводник с током.

9. Частица с электрическим зарядом  $8 \cdot 10^{-19}$  Кл движется со скоростью 220 км/ч в магнитном поле с индукцией 5 Тл, под углом  $30^\circ$ . Определить значение силы Лоренца.

- а)  $10^{-15}$  Н
- б)  $2 \cdot 10^{-14}$  Н
- в)  $2 \cdot 10^{-12}$  Н
- г)  $1,2 \cdot 10^{-16}$  Н

10. Постоянное магнитное поле можно обнаружить по действию на...
- движущуюся заряженную частицу;
  - неподвижную заряженную частицу;
  - любое металлическое тело;
  - заряженный диэлектрик

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Что можно рассчитать с помощью формул 2 и 3 соответственно?

$$R = c\tau/2 \quad (2)$$

$$F_v = 2f_0 V_r / c = 2V_r / \lambda_0 \quad (3)$$

- радиальную скорость движения объекта и дальность объекта;
  - дальность объекта и отраженную от объекта частоту;
  - дальность объекта и доплеровское смещение частоты отраженного сигнала;
  - ничего из перечисленного.
2. Что такое радиолокационный сигнал?
- это сигнал, который передает какая либо цель (наземная или воздушная) на РЛС;
  - это сигнал, которым РЛС облучает цели близлежащего пространства;
  - это отраженный от цели сигнал, при облучении ее сигналом РЛС;
3. Диффузное рассеяние (ненаправленное излучение) возникает...
- ...при размерах облучаемых объектов, кратных нечетному количеству полу-волн;
  - ...при облучении "гладких" поверхностей, размеры которых многократно превышают длину волны  $\lambda$  падающей радиоволны;
  - ...при облучении больших поверхностей с шероховатостями;
  - ... при размерах облучаемых объектов, кратных четному количеству полу-волн.
4. О чем идет речь?

Площадь поперечного сечения такого воображаемого объекта, который, равномерно (изотропно) рассеивая падающие на него радиоволны, в месте приема создает такую же плотность потока мощности, что и реальная цель.

$$\sigma_{\text{ц}} = 4\pi R^2 \frac{P_2}{P_1} \quad (4)$$

- эффективная площадь рассеяния;
  - площадь облученной цели;
  - площадь поперечного сечения облученной цели;
  - нет верного ответа.
5. Что иллюстрирует рис.1?

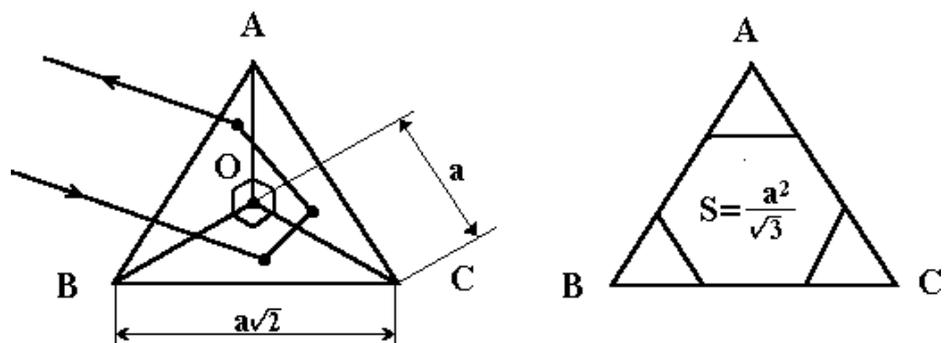


Рисунок 1

- А) конструкцию летательного аппарата;
- Б) конструкцию антенны РЛС;
- В) конструкцию плоского идеального проводящего листа;
- Г) конструкцию зеркального углового отражателя (ЗУО).

6. К ЭПР простейших объектов можно отнести:

- А) ЭПР плоского идеального проводящего листа и ЗУО;
- Б) ЭПР шара и линейного электрического вибратора;
- В) только ЭПР линейного электрического вибратора;
- Г) все из перечисленного.

7. При каком условии в фидерной линии обеспечивается режим бегущей волны?

- А) если КБВ = 0,5;
- Б) если КСВ = 1;
- В) если КСВ → 0;
- Г) если КСВ → ∞.

8. Что за выражение представлено в виде формулы (5)?

$$R_{\text{макс}} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{и}} G_{\text{и}} G_{\text{ц}} \lambda_{\text{ц}}^2 \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^3 P_{\text{смин}}}} \quad (5)$$

- А) основное уравнение радиолокации;
- Б) основное уравнение радиолокации или уравнение дальности РЛС в свободном пространстве;
- В) уравнение дальности РЛС в свободном пространстве;
- Г) обобщенное уравнение дальности радиолокационного наблюдения в свободном пространстве.

9. О чем идет речь?

Изменение частоты и длины волн, регистрируемых приёмником, вызванное движением их источника и/или движением приёмника.

- А) о доплеровском набеге частоты;
- Б) о набеге фазы;
- В) об эффекте Миллера;
- Г) ответы А) и Б).

10. Рефракция радиоволн в атмосфере - это...

- А) наложение волн;
- Б) огибание препятствий волнами с длиной волны большей, чем эти препятствия;

- В) криволинейная траектория их распространения из-за атмосферных помех;
- Г) криволинейная траектория их распространения из-за неоднородностей среды

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

1. Классификация радиоволн по диапазонам и краткая характеристика их свойств.
2. Основные характеристики и особенности электромагнитного поля.
3. Общие законы электродинамики. Источники электромагнитного поля.
4. Энергия электромагнитного поля. Вектор Умова (Пойнтинга-Умова). Уравнение баланса энергии – теорема Умова (Умова-Пойнтинга).
5. Общие (интегральные) соотношения. Уравнения Максвелла в интегральной и комплексной формах.
6. Среда распространения радиоволн.
7. Возбуждение и излучение электромагнитных волн (радиоволн). Волновой вектор.
8. Электрические вибраторы. Простейшая модель вибратора в виде разомкнутой длинной линии.
9. Волновое уравнение. Плоские, цилиндрические и сферические волны.
10. Плоские волны в однородной безграничной среде: структура, волновое (характеристическое) сопротивление, фазовая и групповая скорости, плотность потока мощности, учет поглощения в однородной среде.
11. Поляризация плоских электромагнитных волн.
12. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела двух однородных сред. Формулы Френеля. Обобщенные плоские волны.
13. Отражение плоских волн от границы хорошо проводящей среды.
14. Отражение плоской электромагнитной волны от плоскости с анизотропным импедансом. Обобщенные формулы Френеля.
15. Поверхностные и пространственные волны.
16. Виды колебаний в волноводах и резонаторах. Линии передачи (волноводы).
17. Законы геометрической и волновой (физической) оптики. Принцип Ферма. Зоны Френеля и Фраунгофера.
18. Принцип Гюйгенса-Френеля-Кирхгофа.
19. Интерференция, дифракция, рефракция и отражение радиоволн.
20. Энергетические соотношения при распространении радиоволн в условиях свободного пространства.
21. Область пространства, существенно влияющая на распространение радиоволн.
22. Области атмосферы, химический состав, распределение температуры и количества нейтральных частиц в единице объема по высоте.
23. Распределение заряженных частиц в ионосфере.

24. Электрические свойства тропосферы и стратосферы: диэлектрическая проницаемость, локальные неоднородности диэлектрической проницаемости тропосферы.

25. Электрические свойства ионосферы: диэлектрическая проницаемость и проводимость, локальные неоднородности в ионосфере, ионосферные возмущения.

26. Возможные пути распространения радиоволн в земной атмосфере.

27. Распространение радиоволн при расположении антенн непосредственно у поверхности земли.

28. Распространение радиоволн при расположении антенн над поверхностью Земли.

29. Распространение радиоволн в тропосфере. Рефракция радиоволн.

30. Распространение радиоволн в ионосфере. Волновод Земля-ионосфера. Максимальные частоты волн, отражающиеся от ионосферы.

31. Ослабление радиоволн в атмосфере.

32. Распространение радиоволн в поглощающих средах.

33. Распространение дециметровых, миллиметровых и сантиметровых волн.

34. Распространение дециметровых волн.

35. Распространение метровых волн.

36. Распространение декаметровых волн. Выбор рабочих частот радиодиапазона.

37. Распространение гектометровых, километровых и мириаметровых волн.

38. Распространение волн УКВ-диапазона в городских условиях.

39. Дальнее тропосферное распространение радиоволн УКВ-диапазона.

40. Распространение радиоволн по космическим линиям связи.

41. Граница ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областей оптического диапазона. Применение волн оптического диапазона.

42. Ослабление волн оптического (видимого, инфракрасного) диапазона в атмосфере.

43. Эффекты, возникающие при распространении волн оптического (видимого и инфракрасного) диапазона.

44. Рефракция волн оптического (видимого, инфракрасного) диапазона

45. Классификация радиоволн по диапазонам и краткая характеристика их свойств.

46. Основные характеристики и особенности электромагнитного поля.

47. Общие законы электродинамики. Источники электромагнитного поля.

48. Энергия электромагнитного поля. Вектор Умова (Пойнтинга-Умова). Уравнение баланса энергии – теорема Умова (Умова-Пойнтинга).

49. Общие (интегральные) соотношения. Уравнения Максвелла в интегральной и комплексной формах.

50. Среды распространения радиоволн.

51. Возбуждение и излучение электромагнитных волн (радиоволн). Волновой вектор.
52. Электрические вибраторы. Простейшая модель вибратора в виде разомкнутой длинной линии.
53. Волновое уравнение. Плоские, цилиндрические и сферические волны.
54. Плоские волны в однородной безграничной среде: структура, волновое (характеристическое) сопротивление, фазовая и групповая скорости, плотность потока мощности, учет поглощения в однородной среде.
55. Поляризация плоских электромагнитных волн.
56. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела двух однородных сред. Формулы Френеля. Обобщенные плоские волны.
57. Отражение плоских волн от границы хорошо проводящей среды.
58. Отражение плоской электромагнитной волны от плоскости с анизотропным импедансом. Обобщенные формулы Френеля.
59. Поверхностные и пространственные волны.
60. Виды колебаний в волноводах и резонаторах. Линии передачи (волноводы).

### **7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену**

Не предусмотрено учебным планом

### **7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Зачет с оценкой проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов, 10 стандартных задач и 10 прикладных задач. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 30.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 16 баллов.
2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 16 до 20 баллов.
3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 25 баллов.
4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 26 до 30 баллов.

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Основы электродинамики	ОПК-4, ПК-2	Тест, зачет, устный опрос
2	Принципы электродинамики	ОПК-4, ПК-2	Тест, зачет, устный опрос

3	Распространение волн в безграничных средах	ОПК-4, ПК-2	Тест, зачет, устный опрос
4	Взаимодействие волн с границей раздела сред	ОПК-4, ПК-2	Тест, зачет, устный опрос
5	Теория направляемых волн	ОПК-4, ПК-2	Тест, зачет, устный опрос
6	Распространение волн в околоземном пространстве	ОПК-4, ПК-2	Тест, зачет, устный опрос

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

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсового проекта осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Юдин В.И., Останков А.В. Электромагнитные поля и волны Ч.1. Волны в безграничных и полубесконечных средах. – Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2007. – 182 с. 621.37 Ю.163 Электронный ресурс
2. Володько А.В., Краснов Р.П., Юдин В.И. Электромагнитные поля и волны Ч.2. Электромагнитные волны и колебания в волноводах и резонаторах. – Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2008. – 175 с. 621.37 В68

3. Володько А.В., Краснов Р.П., Юдин В.И. Электромагнитные поля и волны Ч.3. Квантовые генераторы оптического диапазона. – Воронеж: ГОУВО «ВГТУ», 2016. – 138 с. 621.37 В68

4. Ерохин Г.А., Чернышев О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский В.Г. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 491 с. 621.396.6 А72

5. Калабанов Е.М., Юдин В.И. Распространение оптического и миллиметрового излучения в атмосфере. Воронеж: ВГТУ, 2001. 535 К17

6. Юдин В.И., Глазунов О.А., Буравцов С.А., Пастернак Ю.Г. Программа расчета полей Е- и Н-волн в прямоугольном и круглом волноводах. Рег. номер ГОСФАП 50200100342 от 14.09.2001.

7. Юдин В.И., Лесных Е.И., Пастернак Ю.Г., Пивоваров Г.С., Шульженко Ю.А. Программа исследования дифракции электромагнитных волн с Е- и Н-поляризацией на идеально отражающей двухпазовой гребенке. Рег. номер ГОСФАП 50200100335 от 19.09.2001.

8. Останков А.В., Пастернак Ю.Г., Шерстюк О.И., Юдин В.И. Программа расчета дифракции плоских Н-поляризованных электромагнитных волн на трехуровневой металлической гребенке, накрытой слоем диэлектрика. Рег. номер ГОСФАП 50200401274 от 10.11.2004.

9. Коростелев Ю.С. Электродинамика - это просто [Электронный ресурс]: учебное пособие для самостоятельной работы студентов/ Коростелев Ю.С., Пашин А.В.— Электрон. текстовые данные.— Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2010.— 132 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20451.html>.— ЭБС «IPRbooks»

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

Специализированное оригинальное программное обеспечение

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Специализированная учебная лаборатория, оснащенная компьютером с выходом в сеть Internet, комплексом лабораторного оборудования, наглядных материалов и плакатов. Магистральный радиоприемник Р-399

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Освоение дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решение задач на практических занятиях.