Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 04.10.2023 14:59:04
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет машиностроения

УТВЕРЖДАЮ

Декан

_____ Е.В. Сафонов

«16» февраля 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Электродинамика и распространение радиоволн

Направление подготовки
11.03.01 Радиотехника

Профиль
Интеллектуальная радиоэлектроника и промышленный интернет вещей

Квалификация
Бакалавр

Формы обучения
очная, заочная

Москва, 2023 г.

Разработчик:
Доцент кафедры «Автоматика и управление»,
канд. техн. наук  М.В. Вечеркин

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Автоматика и управление»,
д.т.н., профессор  А.А. Радионов

Руководитель образовательной программы
д.т.н., профессор  А.А. Радионов

Содержание

1 Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2 Место дисциплины в структуре образовательной программы 5
3 Структура и содержание дисциплины 5
3.1 Виды учебной работы и трудоемкость 5
3.2 Тематический план изучения дисциплины 6
3.3 Содержание дисциплины 11
3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 13
3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 14
4 Учебно-методическое и информационное обеспечение 14
4.1 Нормативные документы и ГОСТы 14
4.2 Основная литература 14
4.3 Дополнительная литература 15
4.4 Электронные образовательные ресурсы 15
4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 15
4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 15
5 Материально-техническое обеспечение 15
6 Методические рекомендации 16
6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 16
6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 16
7 Фонд оценочных средств 17
7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения 18
7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения 19
7.3 Оценочные средства 23

1 Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью изучения дисциплины является создание теоретической базы для дальнейшего изучения специальных радиотехнических дисциплин и последующей самостоятельной деятельности в области радиотехники.

Задачи изучения дисциплины заключаются в приобретении обучающимися необходимых теоретических знаний в области электродинамики, умений и владений, требуемых для практических расчетов связанных с распространением радиоволн.

Обучение по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	**Индикаторы достижения компетенции**	**Наименование показателя оценивания**
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ИОПК-1.1 Понимает фундаментальные законы природы; основные физические и математические методы накопления, передачи и обработки информации ИОПК-1.2 Применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера ИОПК-1.3 Использует знания естественных наук и математики при решении практических задач	**Знать:** основные понятия и законы электродинамики, связанные с распространением радиоволн. **Уметь:** выявлять физическую сущность явлений и процессов в радиотрассах и правильно выбирать методы расчета. **Владеть**: основными методами расчета радиотрасс.
ОПК-2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ИОПК-2.1 Применяет основные методы и средства проведения экспериментальных исследований ИОПК-2.2 Выбирает эффективную методику экспериментальных исследований ИОПК-2.3 Проводит экспериментальные исследования, обрабатывает и представляет полученные данные	**Знать**: особенности экспериментального исследования радиотрасс. **Уметь:** выявлять особенности радиотрасс, существенно влияющих на распространение радиоволн и правильно выбирать измерительное оборудование для экспериментальных исследований. **Владеть:** навыками работы с измерительным оборудованием, а также приемами обработки и представления полученных данных с помощью программного обеспечения.

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части блока Б1 «Дисциплины (модули)».
Дисциплина непосредственно связана со следующими дисциплинами и практиками ООП:

Генерирование и формирование импульсов;
Линейная алгебра;
Математический анализ;
Прием и обработка сигналов;
Радиоматериалы и радиокомпоненты;
Радиотехнические системы;
Радиотехнические цепи и сигналы;
Радиофизика;
Специальные главы математики;
Устройства СВЧ и антенны;
Физика;
Электротехника.

3 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц (288 часов).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

(по формам обучения)

3.1.1 Очная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры	
			3	4
1	**Аудиторные занятия**	**108**	**54**	**54**
	В том числе:			
1.1	Лекции	72	36	36
1.2	Семинарские/практические занятия	18	18	
1.3	Лабораторные занятия	18		18
2	**Самостоятельная работа**	**180**	**90**	**90**
	В том числе:			
2.1	Подготовка отчетов по лабораторным работам	48	24	24
2.2	Решение индивидуальных задач	52	26	26
2.3	Выполнение расчетно-графических работ	44	22	22
2.4	Подготовка к зачету	18	18	
2.5	Подготовка к экзамену	18		18
3	**Промежуточная аттестация**			
	Зачет/диф.зачет/экзамен		Зачет	Экзамен
	Итого	**288**	**144**	**144**

3.1.2 Заочная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры	
			4	5
1	**Аудиторные занятия**	**32**	**16**	**16**
	В том числе:			
1.1	Лекции	16	8	8
1.2	Семинарские/практические занятия	8	4	4
1.3	Лабораторные занятия	8	4	4
2	**Самостоятельная работа**	**256**	**128**	**128**
	В том числе:			
2.1	Подготовка отчетов по лабораторным работам	56	28	28
2.2	Решение индивидуальных задач	80	40	40
2.3	Выполнение расчетно-графических работ	60	30	30
2.4	Подготовка к зачету	30	30	
2.5	Подготовка к экзамену	30		30
3	**Промежуточная аттестация**			
	Зачет/диф.зачет/экзамен		Зачет	Экзамен
	Итого	**288**	**144**	**144**

3.2 Тематический план изучения дисциплины

(по формам обучения)

3.2.1 Очная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1	**Раздел 1. Основные понятия электродинамики**	**20**	**4**	**0**	**2**	**0**	**14**
1.1	Макроскопические и микроскопические явления и процессы. Виды фундаментальных взаимодействий. Классическая и квантовая электродинамика.		1				4
1.2	Электрические заряды и их свойства. Электрические токи. Электромагнитное поле.		2				4
1.3	Векторы электромагнитного поля. Электромагнитные параметры среды.		2		2		6
2	**Раздел 2. Основные уравнения электромагнитного поля**	**28**	**6**	**4**	**2**	**0**	**16**
2.1	Материальные уравнения		2				6

	электромагнитного поля. Классификация сред.						
2.2	Основные понятия векторного анализа: скалярное поле, векторное поле, градиент, поток вектора, дивергенция, циркуляция ротор. Теорема Остроградского-Гаусса. Теорема Стокса.		2	2	1		6
2.3	Уравнения Максвелла в дифференциальной, интегральной и комплексной форме. Система уравнений электромагнитного поля.		2	2	1		6
3	**Раздел 3. Плоские электромагнитные волны в однородной изотропной среде**	**20**	**6**	**0**	**2**	**0**	**12**
3.1	Плоские волны в среде с проводимостью, отличной от нуля: в диэлектрических средах с малыми потерями; в хорошо проводящих средах.		4				6
3.2	Поляризация электромагнитных волн.		2		2		6
4	**Раздел 4. Отражение и преломление электромагнитных волн на границе раздела сред**	**24**	**6**	**4**	**0**	**0**	**14**
4.1	Падение поляризованной плоской волны на границу раздела двух сред.		2				4
4.2	Полное отражение и полное прохождение электромагнитной волны.		2	2			5
4.3	Приближенные граничные условия Леонтовича.		2	2			5
5	**Раздел 5. Излучение электромагнитных волн в свободном пространстве**	**26**	**4**	**4**	**2**	**0**	**16**
5.1	Элементарный электрический и элементарный магнитный излучатель.		2	2			8
5.2	Основные параметры и характеристики антенн.		2	2	2		8
6	**Раздел 6. Электромагнитные волны в направляющих системах**	**22**	**6**	**2**	**2**	**0**	**12**
6.1	Параметры и условия распространения направляемых волн.		3	2			6
6.2	Волноводы, коаксиальные, двухпроводные и полосковые линии передачи.		3		2		6
7	**Раздел 7. Распространение радиоволн в свободном пространстве**	**24**	**4**	**4**	**2**	**0**	**14**
7.1	Классификация радиоволн по способу распространения.		1				6

7.2	Модель свободного пространства		1	2			4
7.3	Область пространства, существенно участвующая в распространении радиоволн.		2	2	2		4
8	**Раздел 8. Поле высоко расположенных антенн в освещенной зоне**	**22**	**6**	**0**	**0**	**0**	**16**
8.1	Основное уравнение радиосвязи. Множитель ослабления на естественных трассах.		2				4
8.2	Электродинамические параметры земной поверхности. Распространение земной волны.		1				4
8.3	Дальность прямой видимости и зоны приема.		1				2
8.4	Двухлучевая модель распространения радиоволн. Формула Введенского.		2				6
9	**Раздел 9. Поле низко расположенных антенн**	**18**	**6**	**0**	**0**	**0**	**12**
9.1	Излучение и прием радиоволн диапазонов ДВ и СВ вблизи поверхности Земли.		3				6
9.2	Формула Шулейкина и дифракционная формула Фока.		3				6
10	**Раздел 10. Распространение радиоволн при наличии препятствий**	**22**	**6**	**0**	**2**	**0**	**14**
10.1	Влияние неровностей местности. Критерий Рэлея.		2		2		4
10.2	Модели открытой, полузакрытой и закрытой трассы.		1				4
10.3	Аппроксимация препятствий. Расчет поля на одиночном клине. Эффект усиления поля препятствием.		2				4
10.4	Учет кривизны земной поверхности.		1				2
11	**Раздел 11. Распространение радиоволн в тропосфере**	**20**	**6**	**0**	**0**	**0**	**14**
11.1	Параметры и характеристики тропосферы.		2				2
11.2	Рефракция радиоволн в тропосфере.		2				4
11.3	Затухание радиоволн в тропосфере.		1				4
11.4	Дальнее тропосферное распространение. Замирания.		1				4
12	**Раздел 12. Распространение радиоволн в ионосфере**	**22**	**6**	**0**	**2**	**0**	**14**
12.1	Строение, параметры и характеристики ионосферы.		1				2
12.2	Отражение и преломление волн в ионосфере.		1				4
12.3	Ослабление радиоволн в ионосфере.		2		2		4
12.4	Расчет ВЧ ионосферных радиолиний. Замирания.		2				4

13	**Раздел 13. Диапазонные особенности распространения радиоволн**	**20**	**6**	**0**	**2**	**0**	**12**
13.1	Распространение длинных и сверхдлинных волн.		1				2
13.2	Распространение средних волн.		1				2
13.3	Распространение коротких волн.		1				3
13.4	Распространение УКВ на наземных и космических радиолиниях.		3		2		5
	Итого	**288**	**72**	**18**	**18**	**0**	**180**

3.2.2 Заочная форма обучения

№ п/п	**Разделы/темы дисциплины**	**Трудоемкость, час**					
		Всего	**Аудиторная работа**				**СРС**
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лаб. занятия	Практическая подготовка	
1	**Раздел 1. Основные понятия электродинамики**	**26**	**1**	**0**	**0**	**0**	**25**
1.1	Классическая и квантовая электродинамика.		0,5				10
1.2	Векторы электромагнитного поля. Электромагнитные параметры среды.		0,5				15
2	**Раздел 2. Основные уравнения электромагнитного поля**	**32**	**1**	**0**	**0**	**0**	**31**
2.1	Материальные уравнения электромагнитного поля. Классификация сред.		0,5				11
2.2	Уравнения Максвелла. Система уравнений электромагнитного поля.		0,5				20
3	**Раздел 3. Плоские электромагнитные волны в однородной изотропной среде и на границе раздела сред**	**28**	**1**	**1**	**1**	**0**	**25**
3.1	Плоские волны в реальных средах. Поляризация электромагнитных волн.		0,25				6
3.2	Падение поляризованной плоской волны на границу раздела двух сред.		0,25				6
3.3	Полное отражение и полное прохождение электромагнитной волны.		0,25		1		6
3.4	Приближенные граничные условия Леонтовича.		0,25	1			7
4	**Раздел 4. Излучение электромагнитных волн в свободном пространстве**	**27**	**1**	**1**	**1**	**0**	**24**
4.1	Элементарный электрический и элементарный магнитный излучатель.		0,5	1			
4.2	Основные параметры и характеристики антенн.		0,5		1		

5	**Раздел 5. Распространение радиоволн в свободном пространстве**	**24**	**2**	**1**	**1**	**0**	**20**
5.1	Классификация радиоволн по способу распространения.		0,5	1			10
5.2	Модель свободного пространства. Область пространства, существенно влияющая на распространение радиоволн.		1,5		1		10
6	**Раздел 6. Поле высоко расположенных антенн в освещенной зоне**	**35**	**2**	**1**	**1**	**0**	**31**
6.1	Основное уравнение радиосвязи. Множитель ослабления на естественных трассах.		0,5	1			10
6.2	Электродинамические параметры земной поверхности. Распространение земной волны.		0,5				10
6.3	Дальность прямой видимости и зоны приема. Двухлучевая модель распространения радиоволн.		1		1		11
7	**Раздел 7. Поле низко расположенных антенн**	**24**	**2**	**1**	**1**	**0**	**20**
7.1	Излучение и прием радиоволн диапазонов ДВ и СВ вблизи поверхности Земли.		1	1			10
7.2	Формула Шулейкина и дифракционная формула Фока.		1		1		10
8	**Раздел 8. Распространение радиоволн при наличии препятствий**	**34**	**2**	**1**	**1**	**0**	**30**
8.1	Влияние неровностей местности. Критерий Рэлея.		0,5		1		10
8.2	Модели открытой, полузакрытой и закрытой трассы.		0,5				6
8.3	Аппроксимация препятствий. Расчет поля на одиночном клине. Эффект усиления поля препятствием.		0,5				8
8.4	Учет кривизны земной поверхности.		0,5	1			6
9	**Раздел 9. Распространение радиоволн в тропосфере и ионосфере**	**29**	**2**	**1**	**1**	**0**	**25**
9.1	Строение и характеристики тропосферы и ионосферы.		0,5				5
9.2	Рефракция и затухание радиоволн в тропосфере. Дальнее тропосферное распространение. Замирания.		0,5				10
9.3	Отражение, преломление и ослабление волн в ионосфере. Расчет ВЧ ионосферных радиолиний.		1	1	1		10
10	**Раздел 10. Диапазонные особенности распространения радиоволн**	**29**	**2**	**1**	**1**	**0**	**25**
10.1	Распространение ДВ и СДВ		0,25				5
10.2	Распространение СВ		0,25				5

10.3	Распространение КВ		0,5	1			5
10.4	Распространение УКВ на наземных и космических радиолиниях		0,5		1		10
	Итого	**288**	**16**	**8**	**8**	**0**	**256**

3.3 Содержание дисциплины

Раздел 1. Основные понятия электродинамики

Макроскопические и микроскопические явления и процессы. Виды фундаментальных взаимодействий. Классическая и квантовая электродинамика. Электрические заряды и их свойства. Объемная, поверхностная и линейная плотность заряда. Электрический ток, элемент тока, объемная, поверхностная и линейная плотность тока. Электромагнитное поле. Векторы напряженности электрического и магнитного поля, векторы индукции электрического и магнитного поля. Электромагнитные параметры среды: относительная диэлектрическая и относительная магнитная проницаемость, удельная электропроводность.

Раздел 2. Основные уравнения электромагнитного поля

Скалярные и векторные поля. Базовые понятия векторного анализа: градиент, поток, циркуляция, дивергенция, ротор. Материальные уравнения электромагнитного поля. Классификация сред: вакуум, диэлектрики, магнетики, проводники. Виды сред: линейная, нелинейная, однородная, неоднородная, кусочно-однородная, изотропная, анизотропная. Уравнения Максвелла в дифференциальной, интегральной, комплексной форме и их физический смысл. Полная система уравнений электромагнитного поля.

Раздел 3. Плоские электромагнитные волны в однородной изотропной среде и на границе раздела сред

Волновые уравнения. Плоские волны в однородной изотропной среде с проводимостью отличной от нуля, в диэлектрических средах с малыми потерями; в хорошо проводящих средах. Поляризация электромагнитных волн.

Раздел 4. Отражение и преломление электромагнитных волн на границе раздела сред

Падение нормально поляризованной плоской волны на границу раздела двух сред. Полное прохождение волны во вторую среду. Коэффициенты отражения и преломления. Полное отражение от границы раздела двух сред. Нормальное падение плоской волны на границу раздела сред. Приближенные граничные условия Леонтовича.

Раздел 5. Излучение электромагнитных волн в свободном пространстве

Решение уравнений Максвелла для задач излучения электромагнитных волн. Элементарный электрический излучатель. Элементарный магнитный излучатель. Элемент Гюйгенса. Основные сведения об антеннах и фидерах. Основные параметры и характеристики антенн: коэффициент защитного действия, коэффициент направленного действия; коэффициент полезного действия; коэффициент усиления; амплитудная характеристика направленности; диаграмма направленности.

Раздел 6. Электромагнитные волны в направляющих системах

Параметры и условия распространения направляемых волн. Волноводы прямоугольные и круглые, коаксиальные, двухпроводные и полосковые линии передачи. Основные принципы возбуждения направляемых волн.

Раздел 7. Распространение радиоволн в свободном пространстве

Классификация радиоволн по способу распространения: прямая, земная, тропосферная, ионосферная волна. Виды радиосвязи. Модель свободного пространства. Область пространства, существенно участвующая в распространении радиоволн. Расчет размера и конфигурации существенной области методом зон Френеля.

Раздел 8. Поле высоко расположенных антенн в освещенной зоне

Основное уравнение радиосвязи. Множитель ослабления на естественных трассах. Распространение земной волны. Электродинамические параметры земной поверхности. Дальность прямой видимости и зоны приема. Двухлучевая модель распространения радиоволн. Область, существенная при отражении радиоволн: расчет местоположения и параметров участка. Формула Введенского и границы ее применимости.

Раздел 9. Поле низко расположенных антенн

Излучение и прием радиоволн диапазонов ДВ и СВ вблизи поверхности Земли. Ослабление энергии радиоволн, распространяющихся вдоль плоской поверхности земли. Формула Шулейкина и дифракционная формула Фока.

Раздел 10. Распространение радиоволн при наличии препятствий

Влияние неровностей местности. Критерий Рэлея. Модели открытой, полузакрытой и закрытой трассы. Аппроксимация препятствий телами правильной геометрической формы. Расчет дифракционного поля на одиночном клине. Эффект усиления поля препятствием. Учет кривизны земной поверхности.

Раздел 11. Распространение радиоволн в тропосфере

Параметры и характеристики тропосферы: диэлектрическая проницаемость и показатель преломления, их зависимость от высоты. Модель стандартной тропосферы. Понятие эквивалентного радиуса Земли. Рефракция радиоволн в тропосфере: нормальная, критическая, сверхрефракция, отрицательная рефракция. Затухание радиоволн в тропосфере. Неоднородности тропосферы: слоистые и турбулентные. Рассеяние радиоволн на неоднородностях тропосферы. Дальнее тропосферное распространение. Замирания.

Раздел 12. Распространение радиоволн в ионосфере

Строение, параметры и характеристики ионосферы. Слои ионосферы и их параметры: электронная плотность, высота нижней границы ионизации, полутолщина слоя, число столкновений электрона с тяжелыми частицами. Диэлектрическая проницаемость и проводимость ионосферы, их зависимость от частоты и высоты. Отражение и преломление радиоволн в ионосфере. Критическая, максимальная и предельная частоты. Ослабление радиоволн в ионосфере. Расчет ВЧ ионосферных радиолиний. Замирания.

Раздел 13. Диапазонные особенности распространения радиоволн

Распространение длинных и сверхдлинных волн. Распространение средних волн. Распространение коротких волн. Максимально применимая частота (МПЧ) и наименьшая применимая частота (НПЧ). Зона молчания для КВ. Распространение УКВ на наземных и космических радиолиниях.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1 Семинарские/практические занятия

3.4.1.1 Очная форма обучения

Семинар 1. Параметры электромагнитных волн. Классификация радиоволн.

Семинар 2. Электрофизические параметры среды. Тангенс угла диэлектрических потерь. Классификация сред.

Семинар 3. Волновые уравнения. Затухание радиоволн в реальных средах.

Семинар 4. Отражение и преломление радиоволн на границе раздела однородных сред.

Семинар 5. Расчет размеров и конфигурации области, существенной для распространения радиоволн.

Семинар 6. Двухлучевая модель распространения УКВ. Интерференционный множитель. Формула Введенского.

Семинар 7. Расчет радиотрассы при низко расположенных антеннах над проводящей земной поверхностью.

Семинар 8. Расчет неровности земной поверхности по критерию Рэлея.

Семинар 9. Дальность прямой видимости. Влияние рефракции в тропосфере на расстояние прямой видимости.

3.4.1.1 Заочная форма обучения

Семинар 1. Параметры электромагнитных волн. Классификация радиоволн. Электрофизические параметры среды. Классификация сред.

Семинар 2. Затухание радиоволн в реальных средах. Отражение и преломление радиоволн на границе раздела двух однородных сред.

Семинар 3. Расчет размеров и конфигурации области, существенной для распространения радиоволн. Двухлучевая модель распространения УКВ. Формула Введенского.

Семинар 4. Расчет радиотрассы при низко расположенных антеннах над проводящей земной поверхностью. Оценка неровности земной поверхности по критерию Рэлея.

3.4.2 Лабораторные занятия

3.4.2.1 Очная форма обучения

Лабораторная работа №1 Исследование поляризованных электромагнитных волн оптического диапазона. Экспериментальная проверка закона Малюса.

Лабораторная работа №2 Отражение и преломление электромагнитных волн на границе раздела однородных диэлектрических сред. Экспериментальная проверка законов Снелиуса.

Лабораторная работа №3 Исследование дифракции радиоволн на отверстии в непрозрачном экране.

Лабораторная работа №4 Исследование распространения электромагнитных волн СВЧ-диапазона в волноводном тракте.

Лабораторная работа №5 Исследование характеристик направленности симметричных вибраторов.

Лабораторная работа №6 Исследование полых металлических волноводов прямоугольного сечения.

Лабораторная работа №7 Исследование компьютерной модели распространения радиоволн в свободном пространстве.

Лабораторная работа №8 Исследование затухания радиоволн миллиметрового диапазона в атмосфере.

Лабораторная работа №9 Исследование поля излучателя, расположенного вблизи поверхности Земли.

Лабораторная работа №10 Моделирование распространения пространственных радиоволн.

3.4.2.2 Заочная форма обучения

Лабораторная работа №1 Отражение и преломление электромагнитных волн на границе раздела однородных диэлектрических сред. Экспериментальная проверка законов Снелиуса.

Лабораторная работа №2 Исследование дифракции радиоволн на отверстии в непрозрачном экране.

Лабораторная работа №3 Исследование затухания радиоволн миллиметрового диапазона в атмосфере.

Лабораторная работа №4 Моделирование распространения пространственных радиоволн.

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Не предусмотрены

4 Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ Р 52002-2003 Электротехника. Термины и определения основных понятий.
2. ГОСТ 24375-80 Радиосвязь. Термины и определения.
3. Рекомендация МСЭ-R P.1812-4 (07/2015) Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трасса для наземных служб «из пункта в зону» в диапазонах УВЧ и ОВЧ.
4. Рекомендация МСЭ-R P.840-7 (12/2017) Ослабление из-за облачности и тумана.
5. Рекомендация МСЭ-R P.838-3 Модель погонного ослабления в дожде, используемая в методах прогнозирования.
6. Рекомендация МСЭ-R P.619-5 (09/2021) Данные о распространении радиоволн, необходимые для определения помех между станциями, находящимися в космосе и на поверхности Земли.
7. Рекомендация МСЭ-R P.368-10 (08/2022) Метод прогнозирования распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц.

4.2 Основная литература

1. Электродинамика и распространение радиоволн: учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-1637-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/50680.

2. Потапов, Л. А. Электродинамика и распространение радиоволн: учебное пособие для вузов / Л. А. Потапов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 196 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05369-2. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/514146.

3. Осипов, О. В. Электродинамика и распространение радиоволн: учебник / О. В. Осипов, Д. П. Табаков, С. В. Морозов. — Самара: ПГУТИ, 2021. — 290 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/301166.

4.3 Дополнительная литература

1. Калинин, А. В. Основы теории распространения радиоволн: учебное пособие / А. В. Калинин, В. А. Яшнов. — Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2022. — 79 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/344618.

2. Милютин, Е. Р. Основы технической электродинамики / Е. Р. Милютин. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 184 с. — ISBN 978-5-507-44519-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/230411.

3. Шостак, А. С. Техническая электродинамика, Основы электродинамики и распространение радиоволн, Антенны и устройства СВЧ: учебное пособие / А. С. Шостак, В. С. Корогодов, В. Г. Козлов. — Москва : ТУСУР, 2012. — 137 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/10907.

4. Козлов, В. Г. Основы электродинамики и распространение радиоволн: учебное пособие / В. Г. Козлов, А. С. Шостак, В. С. Корогодов. — Москва: ТУСУР, 2012. — 172 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/12185.

4.4 Электронные образовательные ресурсы

Не предусмотрено

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. Microsoft-Office
2.PTC-MathCAD
3. Microsoft-Windows

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Международный союз электросвязи. Сектор радиосвязи (МСЭ-R) https://www.itu.int/ru/ITU-R/Pages/default.aspx

2. Научная электронная библиотека https://www.elibrary.ru

3. Единое окно доступа к образовательным ресурсам Федеральный портал http://window.edu.ru

4. Российская государственная библиотека http://www.rsl.ru

5. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» https://biblioclub.ru/index.php

5 Материально-техническое обеспечение

1. Компьютерный класс с предустановленным программным обеспечением, указанным в п. 4.5, мультимедийное оборудование (проектор, персональный компьютер преподавателя).

2. Специализированная аудитория для проведения лабораторных работ. Оборудование и аппаратура: осциллографы, электроизмерительные приборы.

3. Аудитория для лекционных, практических занятий. Оборудование и аппаратура: аудиторная доска, возможность использования мультимедийного комплекса

6 Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

На первом занятии по дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения (темами курса, формами занятий, текущего и промежуточного контроля), раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее практическое значение, довести до студентов требования к форме отчетности и применения видов контроля. Выдаются задания для подготовки к практическим и семинарским занятиям.

При подготовке к лабораторным и практическим работам по перечню объявленных тем преподавателю необходимо уточнить план их проведения, продумать формулировки и содержание учебных вопросов, выносимых на обсуждение, ознакомиться с перечнем тематических вопросов.

В ходе работы во вступительном слове раскрыть практическую значимость темы работы, определить порядок ее проведения, время на обсуждение каждого учебного вопроса. Применяя фронтальный опрос дать возможность выступить всем студентам, присутствующим на занятии.

В заключительной части работы следует подвести ее итоги: дать оценку выступлений каждого студента и учебной группы в целом. Раскрыть положительные стороны и недостатки проведенной лабораторной работы. Ответить на вопросы студентов. Выдать задания для самостоятельной работы по подготовке к следующему занятию.

Методика преподавания дисциплины «Электродинамика и распространение радиоволн» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

– подготовка к выполнению и защита практических и лабораторных работ с помощью специализированного программного обеспечения;

– защита и индивидуальное обсуждение выполняемых этапов расчетно-графических работ;

– технологии анализа ситуаций для активного обучения, которые позволяют студентам соединить теорию и практику, представить примеры принимаемых решений и их последствий, демонстрировать различные позиции, формировать навыки оценки альтернативных вариантов в вероятностных условиях.

Обучение по дисциплине ведется с применением традиционных потоково-групповых информационно-телекоммуникационных технологий. При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационно-телекоммуникационные технологии: презентации с применением проектора и программы PowerPoint.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа является одним из видов учебных занятий. Цель самостоятельной работы – практическое самостоятельное получение студентами навыков работы в программе математического моделирования, рассматриваемых в процессе изучения дисциплины.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Задачи самостоятельной работы студента:

- развитие навыков самостоятельной учебной работы;
- освоение содержания дисциплины;
- углубление содержания и осознание основных понятий дисциплины;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий для эффективной подготовки к экзамену.

Виды внеаудиторной самостоятельной работы:

- самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины;
- выполнение расчетно-графических работ;
- подготовка к лабораторным и практическим занятиям;
- оформление отчетов по выполненным лабораторным работам и подготовка к их защите;

Для выполнения любого вида самостоятельной работы необходимо пройти следующие этапы:

- определение цели самостоятельной работы;
- конкретизация познавательной задачи;
- самооценка готовности к самостоятельной работе;
- выбор адекватного способа действия, ведущего к решению задачи;
- планирование работы (самостоятельной или с помощью преподавателя) над заданием;
- осуществление в процессе выполнения самостоятельной работы самоконтроля (промежуточного и конечного) результатов работы и корректировка выполнения работы;
- рефлексия;
- презентация работы.

7 Фонд оценочных средств

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

- защита лабораторных работ;
- контрольные работы;
- выполнение и защита расчетно-графических работ;
- зачет;
- экзамен.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные задания по практическим работам индивидуально для каждого обучающегося.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

Код компетенций	**Наименование компетенции выпускника**
ОПК-1	Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности
ОПК-2	Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Перечень оценочных средств по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн»

№ п/п	Вид контроля результатов обучения	Наименование контроля результатов обучения	Краткая характеристика контроля результатов обучения
1.	Текущий	Индивидуальная задача	Задачи выдаются по каждому разделу дисциплины и выполняются студентом индивидуально. При проверке преподаватель оценивает правильность произведенных расчетов и соответствие оформления решения установленным требованиям.
2.	Текущий	Лабораторная работа	Лабораторная работа выполняется студентом индивидуально. Оформленный отчет сдается преподавателю на проверку в заранее установленный срок. При проверке преподаватель оценивает качество оформления, правильность расчетов и выводов по работе. К защите лабораторной работы допускаются студенты, выполнившие работу, оформили в соответствии с требованиями отчет о лабораторной работе и предоставили его к защите. Каждому студенту задается не менее трех вопросов по теме лабораторной работы. Набор вопросов к защите доводится до студентов заранее.
3.	Текущий	Расчетно-графическая работа	Обучающийся в течение семестра самостоятельно выполняет ряд расчетно-графических работ по теме раздела. При проверке преподаватель качество оформления, правильность расчетов и выводов.
4.	Промежуточный	Зачет	Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачета проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Зачет проводится в устной форме. В аудитории находится преподаватель и не более 5 человек из числа студентов. Во время проведения зачета его участникам запрещается иметь при себе и использовать средства связи (сотовые телефоны, микрофоны и пр.). Студенту выдается билет с тремя теоретическими вопросами. Количество

			дополнительных вопросов – не более двух. Количество дополнительных вопросов зависит от полноты ответа студента. Время подготовки к ответу не более 40 минут. К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине
5.	Промежуточный	Экзамен	Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно». Экзамен проводится в устной форме. В аудитории находится преподаватель и не более пяти студентов. Во время проведения экзамена его участникам запрещается иметь при себе и использовать средства связи (сотовые телефоны, микрофоны и пр.). Студенту выдается билет с тремя вопросами. Количество дополнительных вопросов – не более двух. Количество дополнительных вопросов зависит от полноты ответа студента. Длительность экзамена 2 часа (120 минут). К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн».

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

Показатель	**Критерии оценивания**			
	2	**3**	**4**	**5**
	Не зачтено	**Зачтено**		
знать: - основные понятия и законы	Обучающийся демонстрирует полное	Обучающийся демонстрирует неполное	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие	Обучающийся демонстрирует полное соответствие

электродинамики, связанные с распространением радиоволн; - особенности экспериментального исследования радиотрасс.	отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: - основные понятия и законы электродинамики, связанные с распространением радиоволн; - особенности экспериментального исследования радиотрасс.	соответствие следующих знаний: - основные понятия и законы электродинамики, связанные с распространением радиоволн; - особенности экспериментального исследования радиотрасс. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	следующих знаний: - основные понятия и законы электродинамики, связанные с распространением радиоволн; - особенности экспериментального исследования радиотрасс. Допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	следующих знаний: - основные понятия и законы электродинамики, связанные с распространением радиоволн; - особенности экспериментального исследования радиотрасс. Свободно оперирует приобретенными знаниями.
уметь: - выявлять физическую сущность явлений и процессов в радиотрассах и правильно выбирать методы расчета; - выявлять особенности радиотрасс, существенно влияющих на распространение радиоволн и правильно выбирать измерительное оборудование для экспериментальных исследований.	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет: - выявлять физическую сущность явлений и процессов в радиотрассах и правильно выбирать методы расчета; - выявлять особенности радиотрасс, существенно влияющих на распространение радиоволн и правильно выбирать измерительное оборудование для экспериментальных исследований.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: - выявлять физическую сущность явлений и процессов в радиотрассах и правильно выбирать методы расчета; - выявлять особенности радиотрасс, существенно влияющих на распространение радиоволн и правильно выбирать измерительное оборудование для экспериментальных исследований. Допускаются значительные	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: - выявлять физическую сущность явлений и процессов в радиотрассах и правильно выбирать методы расчета; - выявлять особенности радиотрасс, существенно влияющих на распространение радиоволн и правильно выбирать измерительное оборудование для экспериментальных исследований. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: - выявлять физическую сущность явлений и процессов в радиотрассах и правильно выбирать методы расчета; - выявлять особенности радиотрасс, существенно влияющих на распространение радиоволн и правильно выбирать измерительное оборудование для экспериментальных исследований. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

		ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	ситуации.	
владеть: - основными методами расчета радиотрасс; - навыками работы с измерительным оборудованием, а также приемами обработки и представления полученных данных с помощью программного обеспечения.	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет - основными методами расчета радиотрасс; - навыками работы с измерительным оборудованием, а также приемами обработки и представления полученных данных с помощью программного обеспечения.	Обучающийся в недостаточной степени владеет: - основными методами расчета радиотрасс; - навыками работы с измерительным оборудованием, а также приемами обработки и представления полученных данных с помощью программного обеспечения. Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет: - основными методами расчета радиотрасс; - навыками работы с измерительным оборудованием, а также приемами обработки и представления полученных данных с помощью программного обеспечения. Навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет: - основными методами расчета радиотрасс; - навыками работы с измерительным оборудованием, а также приемами обработки и представления полученных данных с помощью программного обеспечения. Свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

Шкала оценивания промежуточной аттестации: зачет

Шкала оценивания	Описание
Зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности, не испытывает затруднений при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент не может оперировать знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Шкала оценивания промежуточной аттестации: экзамен

Шкала оценивания	Описание
Отлично	Выполнены все виды работы, предусмотренные учебным планом. Обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
Хорошо	Выполнены все виды работы, предусмотренные учебным планом. Обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Удовлетворительно	Выполнены все виды работы, предусмотренные учебным планом. Обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.
Неудовлетворительно	Не выполнены все виды работы, предусмотренные учебным планом. Обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, демонстрирует минимальные знания теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

Шкала оценивания текущего контроля

Наименование контроля результатов обучения	Шкала оценивания	Описание
Выполнение лабораторной работы по теме раздела	Зачтено: 2 и более баллов. Общий балл складывается из следующих показателей: - работа выполнена в срок; - оформление работы соответствует требованиям; - расчетная и графическая часть выполнены верно; - выводы по работе логичны и обоснованы.	В качестве форм текущего контроля используются отчеты по лабораторным работам. К выполнению лабораторной работы допускаются обучающиеся, подготовившие протоколы выполнения работы в соответствии с действующими методическими указаниями. Отчет по лабораторной работе содержит протокол проведения работы, расчеты, графическую часть, выводы.
Расчетно-графическая работа	«Отлично»: - работа сдана в срок; - расчетная и графическая часть выполнены верно, либо	Задание на РГР выдается на первом занятии соответствующего раздела дисциплины. РГР должна быть выполнена в соответствии с

	имеются незначительные недочеты, не влияющие на конечный результат. «Хорошо»: расчетная часть выполнена верно; в графической части есть недочеты. «Удовлетворительно»: в расчетной и графической части есть недочеты. «Неудовлетворительно»: в расчетной и графической части есть грубые ошибки.	действующими методическими указаниями.
Индивидуальные задачи	«Отлично»: - задача сдана в срок; - расчеты выполнены верно, результат представлен с достаточной точностью и в требуемой размерности; - оформление соответствует установленным требованиям. «Хорошо»: расчеты выполнены верно, но представлены имеются недочеты в представлении результатов или оформлении. «Удовлетворительно»: в расчетах есть незначительные ошибки, оформление не соответствует требованиям. «Неудовлетворительно»: в расчетах грубые ошибки.	Задачи выдаются на первом занятии соответствующего раздела дисциплины. Задачи должны быть выполнены в соответствии с действующими методическими указаниями.

7.3 Оценочные средства

7.3.1 Текущий контроль

Примеры типовых задач

Задача 1. Известна плотность потока мощности. Определить действующее значение напряженности электрической составляющей поля электромагнитной волны.

Вар.	*а*	*б*	*в*	*г*	*д*	*е*
П, пВт/м^2	4, 24	6, 62	9, 93	1 3	1 5	1 7

Задача 2. Определить напряженность поля при распространении радиоволны в свободном пространстве, если известны мощность излучения, коэффициент направленного действия антенны и расстояние.

Вар.	*а*	*б*	*в*	*г*	*д*	*е*
P, Вт	200	1000	4000	5000	5000	9000
D	20	4	4	12,8	2	10
r, км	346	100	50	100	40	100

Задача 3. Определить коэффициент поглощения, если известны частота и параметры среды.

Вар.	*а*	*б*	*в*	*г*	*д*	*е*
ε′	10	4	80	10	4	80
σ, См/м	0,01	0,001	4	0,01	0,001	4
f, кГц	300	30000	20	200	60000	30

Задача 4. Заданы частота и протяженность трассы. Определить радиус первой зоны Френеля для середины трассы.

Вар.	а	б	в	г	д	е
f, кГц	4	6	7,5	2	6	7,5
r, км	35	40	45	20	35	40

Задача 6. Известна напряженность поля, определить плотность потока мощности.

Вар.	а	б	в	г	д	е
$E_д$, мВ/м	4,24	6,62	9,93	13	15	17

Задача 7. Известна напряженность поля, определить плотность потока мощности.

Вар.	а	б	в	г	д	е
$E_д$, мкВ/м	471	125	75,4	264	538	628

Задача 8. Определить мощность излучения, если известны коэффициент направленного действия антенны, расстояние и напряженность поля при распространении в свободном пространстве.

Вар.	а	б	в	г	д	е
D	100	50	10	75	10	30
r, км	1000	500	100	25	300	200
$E_д$, мкВ/м	144	216	192	173	576	432

Задача 9. Определить мощность излучения, если известны коэффициент направленного действия антенны, расстояние и напряженность поля при распространении в свободном пространстве.

Вар.	а	б	в	г	д	е
λ, м	15	1250	15000	5	1500	20000
ε′	4	10	80	4	10	80
σ, См/м	0,001	0,01	4	0,001	0,01	4

Задача 10. Определить мощность излучения, если известны коэффициент направленного действия антенны, расстояние и напряженность поля при распространении в свободном пространстве.

Вар.	а	б	в	г	д	е
f, кГц	300	30000	20	200	60000	30
ε′	10	4	80	10	4	80
σ, См/м	0,01	0,001	4	0,01	0,001	4
x, м	2	10	10	1,5	2	15

Задача 11. Рассчитать для электромагнитной волны согласно данным в табл. 1:

1) период;
2) циклическую частоту;
3) длину волны в вакууме;
4) скорость распространения в среде;
5) длину волны в среде.

Считать, что относительная диэлектрическая проницаемость ε не зависит от частоты волны f. Скорость электромагнитных волн в вакууме принять равной $3 \cdot 10^8$ м/с. Полученные результаты округлить до трех значащих цифр. Решение представить согласно установленному формату.

Таблица 1

Вариант №	Частота f	Материал (среда распространения)	Отн. диэлектр. проницаемость ε
1	150 кГц	Вода	81
2	420 МГц	Стекло	6,0
3	3,4 ГГц	Стекло	7,5
4	0,54 ТГц	Стекло	9,6
5	320 кГц	Слюда	5,4
6	215 МГц	Масло трансформаторное	2,0
7	2,15 ГГц	Масло трансформаторное	2,3
8	0,96 ТГц	Масло касторовое	4,8
9	780 кГц	Масло оливковое	3,0
10	234 МГц	Спирт этиловый	24,5
11	20 ГГц	Спирт метиловый	33,7
12	1,9 ТГц	Полиэтилен	2,3
13	960 кГц	Плексиглас	3,5
14	4,5 МГц	Эфир	4,3
15	7,3 ГГц	Керосин	2,1
16	0,75 ТГц	Скипидар	2,2
17	234 кГц	Толуол	2,4
18	23 МГц	Ацетон	21,5
19	5,12 ГГц	Целлофан	3,5
20	2,15 ТГц	Лёд	73
21	370 кГц	Глицерин	43
22	57 МГц	Бензин	1,9
23	14,1 ГГц	Бензин	2,0
24	1,05 ТГц	Поликарбонат	2,8
25	580 кГц	Поликарбонат	2,9

26	56 МГц	Поликарбонат	3,0
27	49,7 ГГц	Полистирол	2,6
28	0,85 ТГц	Полистирол	2,5
29	650 кГц	Стекло	8,1
30	941 МГц	Органическое стекло	3,5
31	1,31 ГГц	Органическое стекло	3,7
32	0,94 ТГц	Органическое стекло	3,9
33	282 кГц	Целлулоид	4,1
34	375 МГц	Пенопласт	1,0
35	2,19 ГГц	Пенопласт	1,2
36	816 кГц	Кварц	3,6
37	14,1 МГц	Слюда	6,0
38	85,4 МГц	Каучук	2,4
39	0,14 ТГц	Масло вазелиновое	2,0
40	65,9 МГц	Гетинакс	5,5

Формат представления результата

Дано	Решение
f = 1,3 ГГц ε = 2,9 $c = 3 \cdot 10^8$ м/с	
T – ? ω – ? λ_0 – ? v – ? λ – ?	

Ответ: T = ; ω = ; λ_0 = ; v = ; λ = .

Пример расчетно-графической работы

Рассчитать конфигурацию области, существенной при распространении радиоволн, для длины волны λ, если расстояние между источником A и приемником B равно L. Расчет провести не менее чем для 20 радиусов зон Френеля с номерами n = 1 и n = 8.

Результат представить в виде графика зависимости $y = f(x)$ (см. рис. 1).

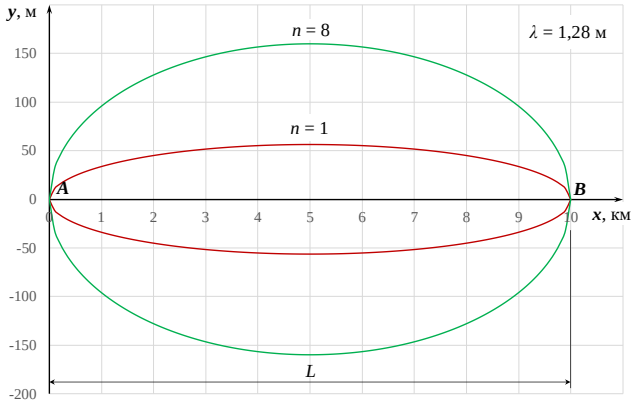


Рис. 1. Пример представления результатов расчета

Методические рекомендации

Конфигурацию существенной области определяют по радиусам зон Френеля для плоскости, перпендикулярной линии AB (рис. 2).

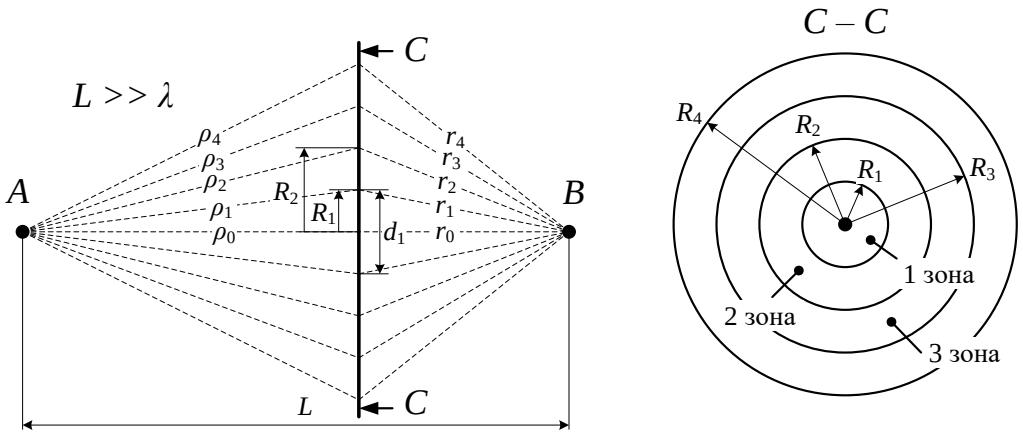


Рис. 2. Построение зон Френеля на плоскости

При соблюдении условия $L >> \lambda$ радиус зоны с произвольным номером n может быть вычислен по формуле:

$$R_n = \sqrt{\frac{\lambda \rho_0 r_0}{\rho_0 + r_0} n};$$

где n – целое число; λ – длина волны; ρ_0 – кратчайшее расстояние от источника A до плоскости; r_0 – кратчайшее расстояние от приемника B до плоскости.

Поскольку $L = \rho_0 + r_0$, то формулу удобно представить в виде:

$$R_n = \sqrt{\frac{\lambda \rho_0 (L - \rho_0)}{L} n}.$$

Последовательно задавая значения ρ_0 в диапазоне от 0 до L, получают соответствующие значения радиуса зоны Френеля R_n. При построении графика отдельно строят верхнюю часть области (положительные значения R_n) и нижнюю часть (отрицательные значения R_n).

Типовые вопросы к защите лабораторных работ

Раздел 1

1. Что понимается под волновым процессом?
2. Каковы общие свойства волновых процессов?
3. Какая волна называется гармонической?
4. Что такое фронт волны? Каков он для плоских, цилиндрических и сферических волн?
5. Что такое вектор плотности потока мощности?
6. Какие волновые явления связаны с распространением электромагнитных и акустических волн?
7. Какие четыре вектора служат математической моделью электромагнитного поля? Каковы их размерности?
8. Как записываются материальные уравнения для векторов электромагнитного поля в вакууме и идеальном диэлектрике? Каков их физический смысл?
9. Какую размерность имеет диэлектрическая проницаемость в системе СИ?
10. Какую размерность имеет магнитная проницаемость в системе СИ?
11. Как вводятся относительные значения диэлектрической и магнитной

проницаемостей?

Раздел 2

1. Какая среда называется идеальной диэлектрической?

2. Как классифицируются среды по величине и виду функциональной зависимости их электродинамических параметров?

3. Какие среды называются линейными и нелинейными, однородными и неоднородными, изотропными и анизотропными? Приведите примеры.

4. Какие физические законы отражают уравнения Максвелла?

5. Запишите четыре уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах. Каков их физический смысл?

6. Какое поле называется монохроматическим? Запишите первое и второе уравнения Максвелла для комплексных амплитуд век торов поля.

7. Что такое тангенс угла диэлектрических потерь?

8. Каков физический смысл величин, входящих в уравнение баланса мгновенных значений мощностей в электромагнитном поле?

9. Что такое вектор Пойнтинга? Как его рассчитать? Какова его размерность?

10. Как вводится комплексный вектор Пойнтинга?

11. Какие соотношения называются граничными условиями для векторов поля?

12. Каковы физические причины изменения векторов поля на границе раздела двух сред?

13. Запишите граничные условия для комплексных амплитуд векторов поля на поверхности идеального проводника.

Раздел 3

1. Запишите решение однородных волновых уравнений для плоских волн, распространяющихся в идеальной диэлектрической среде вдоль оси z.

2. Как в методе комплексных амплитуд находятся мгновенные значения векторных и скалярных величин?

3. Плоская волна распространяется вдоль оси z в однородной изотропной среде с проводимостью отличной от нуля. Вектор E волны направлен вдоль оси x. Запишите комплексные амплитуды векторов E и H и их мгновенные значения.

4. Сформулируйте определения и запишите расчетные формулы фазовой скорости, длины волны и характеристического сопротивления среды.

5. Какова фаза характеристического сопротивления реального проводника?

6. Что такое глубина проникновения электромагнитной волны в проводящую среду?

7. Что называется поляризацией электромагнитных волн?

Раздел 4

1. Нарисуйте векторы Пойнтинга падающей, отраженной и пре- ломленной волн у границы раздела. Покажите плоскость падения и углы падения, отражения и преломления.

2. По какому признаку определяются перпендикулярная и параллельная линейные поляризации падающей волны?

3. Сформулируйте и запишите первый и второй законы Снеллиуса.

4. Дайте определения коэффициентов отражения и преломления (прохождения).

5. Запишите формулы Френеля для случая перпендикулярной и параллельной поляризациях падающей волны.

6. При каких условиях может наблюдаться полное отражение от границы идеальных диэлектрических сред?

7. Какая волна называется стоячей?

8. При каких условиях может наблюдаться отсутствие отраженной волны?

9. Что понимается под коэффициентом бегущей волны?

10. Дайте определения поверхностной и направляемой волн. Каковы их особенности?

11. Запишите и поясните приближенные граничные условия Леонтовича. Как вычисляется мощность потерь в проводниках?

Раздел 5

1. Запишите неоднородные уравнения Гельмгольца для комплексных амплитуд векторов поля E и H.

2. Как вводятся векторный и скалярный электродинамические потенциалы?

3. Зачем применяется калибровка потенциалов по Лоренцу и почему она возможна?

4. Запишите решение неоднородного уравнения Гельмгольца для комплексной амплитуды векторного электродинамического потенциала.

5. Дайте определение элементарного электрического излучателя.

6. Запишите векторы E и H поля элементарного электрического излучателя и сформулируйте общие свойства поля. По какому признаку выделяются ближняя, промежуточная и дальняя зоны поля элементарного электрического излучателя?

7. Что такое диаграмма направленности? Постройте диаграммы направленности элементарного электрического излучателя в меридиональной и экваториальной плоскостях в полярной системе координат.

8. Что такое элементарный магнитный излучатель?

9. Постройте диаграммы направленности элементарного магнитного излучателя в экваториальной и меридиональной плоскостях в полярной системе координат.

10. Что представляет собой элемент Гюйгенса? Какова его диаграмма направленности?

Раздел 6

1. По какому признаку классифицируются направляемые волны? Дайте определения электрических, магнитных, гибридных и по- перечных электромагнитных направляемых волн.

2. При каком условии волны распространяются по линиям передачи? Сформулируйте понятия критической частоты и критической длины волны для направляемых волн.

3. Как определяются длина волны, характеристические сопротивления, фазовая, групповая скорости и скорость распространения энергии направляемых волн?

4. Сформулируйте концепцию парциальных волн. На ее основании покажите отличия параметров направляемых волн от аналогичных параметров свободных волн той же частоты в неограничен- ном пространстве.

5. Как определить мощность, переносимую направляемой волной по идеальной линии передачи? Предельная и допустимая мощности.

6. Укажите причины потери мощности в реальных линиях передачи.

7. Как определяются коэффициенты затухания направляемых волн в диэлектрических и металлических элементах линий передачи?

8. Какие типы направляемых волн существуют в прямоугольном волноводе? Запишите однородные скалярные уравнения Гельмгольца для продольных составляющих векторов поля волн в прямоугольном волноводе.

9. Какие типы направляемых волн существуют в коаксиальной линии передачи? Почему волна T является основной в коаксиальной линии?

10. Как определяются напряжение и ток бегущей T-волны в коаксиальной линии?

11. Что такое волновое сопротивление коаксиальной линии и как оно вычисляется?

12. В каких диапазонах частот используется двухпроводная линия передачи?

13. Как вычисляется волновое сопротивление двухпроводной линии передачи?

14. Нарисуйте поперечное сечение открытой несимметричной полосковой линии передачи.

15. Из каких элементов состоят связанные и щелевые полосковые линии передачи?

16. Как формируется направляемая волна в линиях поверхностной волны при полном внутреннем отражении от границы двух диэлектриков?

17. Почему поверхностную волну называют медленной?

Раздел 7

1. Как классифицируются радиоволны по диапазонам частот?

2. Какие волны называются прямыми, земными, тропосферными и ионосферными?

3. Дайте определение коэффициента направленного действия и коэффициента усиления антенны.

4. Что такое диаграмма направленности антенны?

5. Как рассчитывается напряженность электрического поля направленной антенны в дальней зоне?

6. Как определяется мощность, извлекаемая приемной антенной из падающей волны? Запишите формулу расчета мощности на входе приемника.

7. Как вычисляются основные потери мощности в канале связи? Как их рассчитать в децибелах?

8. Как определяются размеры и форма области пространства, существенно участвующей в формировании поля в точке приема? Запишите формулу расчета радиусов зон Френеля.

Раздел 8

1. Каковы электрические параметры земной поверхности? Поясните основные явления при распространении земной волны: отражение, поглощение, рассеяние, интерференция, дифракция.

2. Что понимается под двухлучевой моделью распространения волн в случае поднятых передающей и приемной антенн?

3. Как определяется поле в освещенной зоне? Запишите интерференционный множитель ослабления.

4. Укажите область интерференционных максимумов и минимумов напряженности поля, а также область монотонного спада поля. Какова зависимость поля от расстояния в этих областях?

5. На каких расстояниях напряженность поля вычисляется по формуле Введенского?

6. Через какие величины учитывается кривизна земной поверхности в освещенной зоне?

7. Как вычисляется принятая мощность в случае поднятых антенн?

Раздел 9

1. В каких диапазонах частот передающая и приемная антенны располагаются на земной поверхности?

2. Как вычисляется напряженность поля земной волны излучающей антенны, расположенной на проводящей земной поверхностью?

3. Как изменяется множитель ослабления в зависимости от численного расстояния в формуле Шулейкина – Ван-дер-Поля? Приведите выражения, аппроксимирующие формулу Шулейкина – Ван-дер-Поля.

4. На каких расстояниях справедлива формула Шулейкина – Вандер-Поля, не учитывающая кривизну земной поверхности?

Раздел 10

1. Как проводится учет мелких неровностей земной поверхности по критерию Релея в диапазоне УКВ?

2. Введите понятие просвета трассы для оценки степени затенения трассы рельефом местности. Какие трассы называются открытыми, полуоткрытыми и закрытыми?

3. Объясните, как рассчитывается поле на открытых трассах с использованием интерференционных формул.

4. Расчет поля на закрытых трассах с использованием модели дифракции радиоволн на клине, аппроксимирующем препятствие.

5. Укажите границы зон освещенности, полутени и тени при учете кривизны земной поверхности. Что такое приведенные высоты антенн?

6. Каковы причины дифракционных потерь? В каком диапазоне частот они наибольшие?

Раздел 11

1. Какая область атмосферы называется тропосферой? Каково значение диэлектрической проницаемости стандартной тропосферы у поверхности Земли? Что такое индекс преломления тропосферы?

2. Какое явление называется рефракцией радиоволн в среде неоднородной вдоль направления распространения волны? Какие бывают виды рефракции в реальной тропосфере?

3. Как вычисляется эквивалентный радиус Земли при учете нормальной рефракции в стандартной тропосфере?

4. Волны каких диапазонов могут быть «захвачены» тропосферным волноводом?

5. Что представляют собой неоднородности в тропосфере и как они влияют на распространение радиоволн?

6. Назовите причины ослабления поля волн, распространяющихся в тропосфере.

7. В каком диапазоне длин волн существенно поглощение в тропосфере? Назовите длины волн, на которых затухание наибольшее.

Раздел 12

1. Какая область атмосферы называется ионосферой?

2. Каковы источники ионизации верхних слоев атмосферы?

3. Как называются области локальных максимумов концентрации свободных электронов в ионосфере?

4. Какими параметрами характеризуются слои D, E, F1 и F2 ионосферы?

5. Запишите формулы диэлектрической проницаемости и проводимости ионосферы для диапазонов частот, испытывающих влияние ионосферы.

6. Как зависит диэлектрическая проницаемость ионосферы от высоты на заданной частоте? Выведите условие отражения радиоволн в неоднородной ионосфере.

7. Что такое собственная частота ионизированного газа? Как она связана с концентрацией свободных электронов?

8. Что такое критическая частота волны, испытывающей отражение при нормальном падении на ионосферу? Как она вычисляется?

9. Что такое максимальная частота волны, испытывающей отражение при наклонном падении на ионосферу? Как она вычисляется?

10. Как определяется предельная частота волны при максимальном угле падения на ионосферу?

11. Для каких диапазонов радиоволн ионосфера радиопрозрачна?

12. Поясните расчет напряженности поля на ионосферных линиях ВЧ-диапазона по методике А.Н. Казанцева.

Раздел 13

1. Какие волновые явления определяют особенности распространения сверхдлинных и длинных волн?
2. Чем объясняется эффект антипода в диапазоне длинных волн?
3. В каких системах связи наиболее применимы средние волны?
4. Каковы особенности распространения радиоволн СВ-диапазона?
5. Какое свойство диапазона коротких волн используется для построения систем дальней связи?
6. Каковы основные положения метода расчета напряженности поля на ионосферных линиях связи КВ-диапазона по формуле А.Н. Казанцева? Поясните величины соответствующей формулы.
7. Как определяются максимально применимая частота (МПЧ) и наименьшая применимая частота (НПЧ)?
8. Почему понятие зоны молчания характерно именно для диапазона коротких волн?
9. Какие модели распространения волн используются при расчете напряженности поля в диапазоне УКВ?
10. Какие явления в тракте распространения необходимо учитывать в спутниковой связи?

7.3.2 Промежуточная аттестация

Типовые вопросы к зачету

1. Что такое длина волны? Как она вычисляется в вакууме и в среде?	ОПК-1
2. Как изменяется частота длина волны при переходе из одной среды в другую?	ОПК-2
3. Какие электромагнитные волны относят к радиоволнам?	ОПК-1
4. Что такое диапазон частот и диапазон радиоволн? По какому принципу радиоволны разделены на диапазоны?	ОПК-2
5. Перечислите диапазоны радиоволн и соответствующие им границы длин волн.	ОПК-1
6. Перечислите параметры электромагнитного поля.	ОПК-2
7. Что такое вектор напряженности электрического поля? Какова его размерность и физический смысл?	ОПК-1
8. Что такое вектор индукции магнитного поля? Какова его размерность и физический смысл?	ОПК-2
9. Что такое вектор индукции электрического поля? Какова его размерность и физический смысл?	ОПК-1
10. Что такое вектор напряженности магнитного поля? Какова его размерность и физический смысл?	ОПК-2
11. Какова связь между вектором индукции и вектором напряженности электрического поля?	ОПК-1
12. Какова связь между вектором индукции и вектором напряженности магнитного поля?	ОПК-2
13. Приведите систему материальных уравнений. Раскройте физический смысл входящих в нее параметров.	ОПК-1
14. Приведите классификацию сред в электродинамике.	ОПК-2
15. Дайте определение скалярного поля. Приведите примеры.	ОПК-1
16. Дайте определение векторного поля. Приведите примеры.	ОПК-2

17. Какие существуют способы графического отображения векторных и скалярных полей.	ОПК-1
18. Основные понятия векторного анализа: поток, градиент, дивергенция, циркуляция, ротор.	ОПК-2
19. Сформулируйте и запишите теорему Остроградского-Гаусса. Раскройте ее физический смысл.	ОПК-1
20. Сформулируйте и запишите теорему Стокса. Раскройте ее физический смысл.	ОПК-2
21. Приведите систему уравнений Максвелла в дифференциальной форме. Каков смысл закона непрерывности магнитного поля?	ОПК-1
22. Приведите систему уравнений Максвелла в дифференциальной форме. Каков смысл закона полного тока?	ОПК-2
23. Приведите систему уравнений Максвелла в интегральной форме. Каков смысл закона электромагнитной индукции?	ОПК-1
24. Сформулируйте и запишите законы Снеллиуса.	ОПК-2

Типовые вопросы к экзамену

1. Назначение, основные параметры и характеристики антенн. Понятие об изотропной антенне.	ОПК-1
2. Амплитудная характеристика направленности антенны.	ОПК-2
3. Диаграмма направленности антенны и способы ее представления.	ОПК-1
4. Ширина диаграммы направленности антенны, коэффициент защитного действия, коэффициент направленного действия (КНД).	ОПК-2
5. Механизмы распространения радиоволн. Классификация видов радиосвязи (ГОСТ 24375-80): наземная, космическая, спутниковая, прямой видимости, тропосферная, ионосферная, метеорная, радиорелейная.	ОПК-1
6. Типы радиолиний: первичные и вторичные радиолинии.	ОПК-2
7. Понятие математической модели радиотрассы. Сложности построения моделей. Классификация матмоделей радиотрасс: модель первого, второго и третьего приближений.	ОПК-1
8. Модель свободного пространства. Основные расчетные соотношения для расчета радиотрассы в свободном пространстве. Ослабление радиоволн в свободном пространстве.	ОПК-2
9. Область пространства, существенная для распространения радиоволн. Расчет конфигурации существенной области методом зон Френеля.	ОПК-1
10. Основные факторы, влияющие на распространение радиоволн вблизи поверхности Земли. Классификация радиолиний по высоте просвета: открытая, полуоткрытая и закрытая радиолиния.	ОПК-2
11. Понятие расстояния прямой видимости. Модели радиотрасс: малой протяженности (освещенная область); средней протяженности (область полутени); большой протяженности (область тени). Особенности и границы применимости каждой модели.	ОПК-1
12. Распространение радиоволн в области прямой видимости вдоль плоской поверхности Земли при высоко поднятых антеннах. Двухлучевая модель распространения радиоволн. Местоположение и параметры участка, существенного при отражении радиоволны.	ОПК-2
13. Расчет радиотрассы в освещенной зоне. Функция ослабления (интерференционная формула) в двухлучевой модели. Максимумы и минимумы напряженности поля при фиксированных высотах антенн.	ОПК-1
14. Формула Введенского и границы ее применимости.	ОПК-2

15. Зеркальное и диффузное отражение радиоволн. Степень неровности поверхности. Критерий Релея.	ОПК-1
16. Сферичность Земли и факторы, влияющие на отраженную радиоволну. Расчет радиотрассы с учетом этих факторов (модель с приведенными высотами антенн и коэффициентом рассеяния от сферической поверхности).	ОПК-2
17. Влияние электродинамических свойств поверхности на распространение земной волны. Относительная комплексная диэлектрическая проницаемость. Зависимость свойств поверхности от частоты: критерий принадлежности к диэлектрику или проводнику. Глубина проникновения слоя в поверхности.	ОПК-1
18. Распространение радиоволн при низко расположенных антеннах. Влияние поляризации на напряженность поля. Дифракционная формула Фока.	ОПК-2
19. Формула Шулейкина – Ван-дер-Поля и различные виды ее записи. Нормированное расстояние. Границы применимости формулы и расчет радиотрасс с ее помощью.	ОПК-1
20. Методика расчета радиотрассы по Рекомендации МСЭ-R P368-10 с использованием графиков, построенных по формуле Фока.	ОПК-2
21. Строение атмосферы. Нейтросфера и ионосфера. Механизмы ионизации. 22. Слои ионосферы, их параметры и характеристики.	ОПК-1
23. Физические параметры тропосферы. Понятие стандартной тропосферы. Зависимость относительной диэлектрической проницаемости и показателя преломления тропосферы от физических параметров и высоты.	ОПК-2
24. Рефракция радиоволн в тропосфере. Учет влияния рефракции при расчете радиолиний с помощью эквивалентного радиуса Земли.	ОПК-1
25. Затухание радиоволн в тропосфере. Потери в тумане, облаках и дожде. Резонансное поглощение. Окна прозрачности. Методика расчета радиолиний согласно МСЭ-R P838-3 и МСЭ-R P840-7.	ОПК-2
26. Неоднородности тропосферы. Дальнее тропосферное распространение радиоволн. Замирания радиоволн.	ОПК-1
27. Зависимость концентрации свободных электронов в ионосфере от высоты. Внешняя и внутренняя ионосфера. Регулярные и нерегулярные изменения концентрации электронов.	ОПК-2
28. Диэлектрическая проницаемость ε и проводимость σ ионосферы. Зависимость ε от высоты и частоты (различные формы записи этой зависимости).	ОПК-1
29. Отражение и преломление радиоволн в ионосфере. Анализ ионосферы на основе слоистой модели. Критическая, максимальная и предельная частоты.	ОПК-2
30. Ослабление радиоволн в ионосфере.	ОПК-2
31. Расчет ионосферных радиотрасс на КВ (ВЧ). Замирания КВ (ВЧ).	ОПК-2
32. Диапазонные особенности распространения радиоволн: длинные и сверхдлинные волны.	ОПК-1
33. Диапазонные особенности распространения радиоволн: средние волны.	ОПК-2
34. Диапазонные особенности распространения радиоволн: короткие волны.	ОПК-1
35. Диапазонные особенности распространения радиоволн: ультракороткие волны на наземных радиолиниях.	ОПК-2
36. Диапазонные особенности распространения радиоволн: ультракороткие волны на космических радиолиниях.	ОПК-1

Типовые задачи к экзамену

1. Рассчитать расстояние прямой видимости без учета рефракции, если высоты антенн $h_1 = 20$ м, $h_2 = 35$ м.

2. Рассчитать расстояние прямой видимости с учетом рефракции, если высоты антенн $h_1 = 15$ м, $h_2 = 25$ м.

3. Рассчитать критическую частоту, при которой волна при нормальном падении еще отражается в ионосфере для значения $N_e = 3 \cdot 10^5$ см$^{-3}$.

4. Рассчитать наибольшую частоту, при которой радиоволна испытывает отражение при $\theta = 30°$ и $N_e = 3 \cdot 10^5$ см$^{-3}$. Сферичность Земли не учитывать.

5. Рассчитать максимальный радиус области, существенной при распространении радиоволн для длины волны $\lambda = 1{,}73$ м и расстояния между антеннами $L = 12{,}5$ км.

6. Рассчитать минимальную высоту приемной антенны h_2 при которой существенная область (первая зона Френеля) не пересекает препятствие высотой 10 м. Высота антенны передатчика $h_1 = 30$ м, расстояние от антенны передатчика до препятствия $a = 2500$ м, длина волны $\lambda = 1{,}2$ м и расстояние между передающей и приемной антеннами $L = 5{,}5$ км.

7. Рассчитать значение напряженности на расстоянии $r = 4000$ м от передающей антенны для длины волны $\lambda = 2{,}4$ дм. Угол скольжения считать малым. Модуль коэффициента отражения принять $R = 1$, фазу $\beta = 180°$.

8. Рассчитать по критерию Релея максимальную высоту неровностей, при которых отражение радиоволны от поверхности Земли можно считать зеркальным. Длина волны $\lambda = 1{,}2$ дм, угол падения $\theta = 5°$.