

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе,  
качеству образования – первый  
проректор

Хагуров Т.А.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.О.20 Электромагнитные поля и волны

*(код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)*

Направление подготовки/специальность 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

*(код и наименование направления подготовки/специальности)*

Направленность (профиль) / специализация Оптические системы и сети связи

*(наименование направленности (профиля)/ специализации)*

Форма обучения очная

*(очная, очно-заочная, заочная)*

Квалификация бакалавр

Краснодар 2021

Рабочая программа дисциплины Б1.О.20 Электромагнитные поля и волны составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки / специальности 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы СВЯЗИ

код и наименование направления подготовки

Программу составил:

Г.Ф. Копытов, профессор, доктор ф.-м. наук

И.О. Фамилия, должность, ученая степень, ученое звание

  
подпись

Рабочая программа дисциплины Б1.О.20 Электромагнитные поля и волны утверждена на заседании кафедры (*разработчика*) Радиофизики и нанотехнологий

протокол № 7 « 14 » апреля 2021 г.

Заведующий кафедрой (*разработчика*) Копытов Г.Ф.

фамилия, инициалы

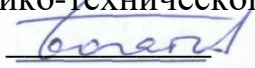
  
подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета протокол № 13 « 16 » апреля 2021 г.

Председатель УМК физико-технического факультета

Богатов Н.М.

фамилия, инициалы

  
подпись

Рецензенты:

\_\_\_\_\_

Тумаев Е.Н., доктор ф.-м. наук, профессор кафедры теоретической физики физико-технического факультета ФБГОУ ВО

\_\_\_\_\_

Медведев Ю.С., доктор тех. наук, профессор, заведующий 103 кафедрой математики и информатики Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков им. Героя Советского Союза А.К. Серова

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины (модуля)

### 1.1 Цель освоения дисциплины

### 1.2 Задачи дисциплины

### 1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина « Б1.О.20 Электромагнитные поля и волны» относится к обязательной части Блока 1 "Дисциплины (модули)" учебного плана. В соответствии с рабочим учебным планом дисциплина изучается на 3 курсе по очной форме обучения. Вид промежуточной аттестации: экзамен.

Изучение дисциплины базируется на физико-математической подготовке студентов, которую они получают при изучении математики - разделы: векторный анализ, дифференциальные операторы, дифференциальные уравнения первого и второго порядка, контурные, поверхностные и объемные интегралы, комплексные числа и функции и действия над ними, матрицы и действия над ними, а также раздела физики - электромагнитные явления.

Данная дисциплина является первой, в которой студенты изучают вопросы практического применения теории электромагнитного поля. Она находится на стыке дисциплин, обеспечивающих базовую и специальную подготовку студентов. Изучая эту дисциплину, студенты впервые знакомятся со структурой электромагнитного поля, возникающего в различных средах и направляющих системах. Приобретенные студентами знания и навыки необходимы как для грамотной эксплуатации телекоммуникационной аппаратуры, так и для разработки широкого класса устройств, связанных с передачей и приемом сигналов.

В результате изучения настоящей дисциплины студенты должны получить знания, имеющие не только самостоятельное значение, но и обеспечивающие базовую подготовку для усвоения ряда последующих дисциплин: «Схемотехника телекоммуникационных устройств», «Метрология, стандартизация и сертификация в инфокоммуникациях», «Сети связи и системы коммутации», «Структурированные кабельные системы».

### 1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование индикатора*достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине (знает, умеет, владеет (навыки и/или опыт деятельности))
<b>ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>	
ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	знает: - прикладные задачи в области применения электромагнитных полей в разработке электронных приборов и устройств, выполняющих различные функции в системах преобразования и передачи информации; опасности и угрозы использования СВЧ излучения в инфокоммуникационных системах; - особенности распространения радиоволн различных диапазонов на трассах радиосвязи; - принципы построения, характеристики и особенности работы антеннофидерных устройств. умеет: проводить анализ технической информации, связанной с электромагнитными явлениями в области информационной безопасности.

Код и наименование индикатора*достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине (знает, умеет, владеет (навыки и/или опыт деятельности))
	владеет: практическими навыками измерения комплексных 8-параметров линейных одно- и двухпортовых устройств, различных характеристик нелинейных цепей, на современном метрологическом оборудовании.

Результаты обучения по дисциплине достигаются в рамках осуществления всех видов контактной и самостоятельной работы обучающихся в соответствии с утвержденным учебным планом.

Индикаторы достижения компетенций считаются сформированными при достижении соответствующих им результатов обучения.

## 2. Структура и содержание дисциплины

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц (144 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице

Виды работ	Всего часов	Форма обучения
		очная
		5 семестр (144 часа)
<b>Контактная работа, в том числе:</b>	<b>64,3</b>	<b>64,3</b>
<b>Аудиторные занятия (всего):</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
занятия лекционного типа	16	16
лабораторные занятия	30	30
практические занятия	14	14
<b>Иная контактная работа:</b>	<b>4,3</b>	<b>4,3</b>
Контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,3	0,3
<b>Самостоятельная работа, в том числе:</b>	<b>44</b>	<b>44</b>
Самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам и т.д.)	24	24
Подготовка к текущему контролю	20	20
<b>Контроль:</b>	<b>35,7</b>	<b>35,7</b>
<b>Общая трудоёмкость</b>	<b>час.</b>	<b>144</b>
	<b>в том числе контактная работа</b>	
	<b>зач. ед</b>	<b>4</b>

### 2.2 Содержание дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Разделы (темы) дисциплины, изучаемые в 5 семестре (3 курсе) (очная форма обучения)

№	Наименование разделов (тем)	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1.	Раздел 1. Введение	3	1			2
2.	Раздел 2. Основные уравнения электромагнитного поля	9	2		4	3
3.	Раздел 3. Граничные условия электродинамики	8			4	4
4.	Раздел 4. Уравнения электродинамики для монохроматического поля	9	2	2	2	3
5.	Раздел 5. Плоские электромагнитные волны	8	2	1	2	3
6.	Раздел 6. Отражение и преломление плоских волн на границе раздела двух сред	10	2	2	2	4
7.	Раздел 7. Общие свойства волн, распространяющихся в линиях передачи	7	2	1	2	4
8.	Раздел 8. Полые металлические волноводы	9		2	2	3
9.	Раздел 9. Линии передачи с Т волнами	7		2	2	3
10.	Раздел 10. Математическая модель линии передачи	11	2	2	4	3
11.	Раздел 11. Применение матриц для анализа СВЧ устройств	8		1	2	3
12.	Раздел 12. Элементы линий передачи	5			2	3
13.	Раздел 13. Объемные резонаторы	6	2	1	2	3
14.	Раздел 14. Излучение электромагнитных волн	4	1			3
	<i>ИТОГО по разделам дисциплины</i>	104	16	14	30	44
	Контроль самостоятельной работы (КСР)	4				
	Подготовка к текущему контролю	20				
	Промежуточная аттестация (ИКР)	0.3				
	Общая трудоемкость по дисциплине	144				

Примечание: Л – лекции, ПЗ – практические занятия / семинары, ЛР – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студента

## 2.3 Содержание разделов (тем) дисциплины

### 2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (темы)	Форма текущего контроля
1.	Введение	Предмет и содержание курса. Краткий исторический обзор развития учения об электромагнетизме. Роль русских учёных в развитии теории электромагнитных полей и волн. Электромагнитное поле как одна из форм материи. Макроскопические и квантовые свойства поля. Предмет классической электродинамики. Электромагнитные поля и современная радиотехника, роль теории электромагнитных полей и волн в развитии науки, систем связи и вещания и телекоммуникаций.	Ответы на контрольные вопросы и задания
2.	Основные уравнения электромагнитного поля	Основные уравнения электромагнитного поля - уравнения Максвелла. Векторы электромагнитного поля. Макроскопические параметры материальных сред. Классификация	Ответы на контрольные вопросы и задания

		и виды сред. Скалярные и тензорные параметры сред. Материальные уравнения. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме. Уравнение непрерывности и закон сохранения заряда. Сторонние источники. Полная система уравнений Максвелла с учётом сторонних источников. Принцип перестановочной двойственности. Плотность электромагнитной энергии и энергия, сосредоточенная в объеме. Плотность мощности и мощность тепловых потерь и сторонних источников. Уравнение баланса для мгновенных значений мощности в дифференциальной и интегральной форме (теорема Пойнтинга). Физическая трактовка. Мощность, выходящая (входящая) из объема через замкнутую поверхность. Мощность излучения. Вектор Пойнтинга.	
3.	Граничные условия электродинамики	Поведение векторов на границе раздела двух сред. Граничные условия для нормальных и касательных составляющих векторов электромагнитного поля. Граничные условия на поверхности идеального проводника.	Ответы на контрольные вопросы и задания
4.	Уравнения электродинамики для монохроматического поля	Классификация электромагнитных явлений по их зависимости от времени. Статические, стационарные и квазистационарные поля. Гармонические колебания. Роль гармонических колебаний в теории и технике телекоммуникационных систем и радиотехнике. Метод комплексных амплитуд. Система уравнений Максвелла для монохроматического поля в комплексной форме. Комплексные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды. Факторы, влияющие на величину мнимой части комплексной диэлектрической и магнитной проницаемости. Диэлектрические и магнитные потери. Средние за период значения энергетических характеристик гармонического электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга для комплексных мощностей. Комплексный вектор Пойнтинга. Уравнения баланса для активных и реактивных мощностей. Физическая трактовка. Условие резонанса для изолированной области.	Ответы на контрольные вопросы и задания
5.	Плоские электромагнитные волны	Плоская волна как предельный случай сферической волны. Решение системы уравнений Максвелла для плоской однородной волны. Свойства плоской волны. Структура поля, Взаимная ориентация векторов поля, коэффициент фазы, фазовая скорость, скорость распространения энергии, характеристическое сопротивление. Плоские однородные волны в	Ответы на контрольные вопросы и задания

		<p>однородной изотропной среде без потерь. Плоская однородная волна в однородной среде с потерями. Свойства волн. Коэффициенты фазы и ослабления, фазовая скорость и длина волны в средах с малыми и большими тангенсами угла потерь. Дисперсионные свойства поглощающей среды.</p> <p>Поляризация волн. Линейно поляризованные волны. Волны с круговой и эллиптической поляризацией. Плоские однородные волны в однородной анизотропной среде.</p> <p>Намагниченный феррит. Гиротропная среда как частный случай анизотропной среды. Частота собственной и вынужденной прецессии. Тензор магнитной проницаемости намагниченного феррита. Разложение линейно поляризованной волны на две волны круговой поляризации.</p> <p>Особенности распространения волн круговой поляризации левого и правого вращения в гиротропной среде. Магнитная проницаемость для волн круговой поляризации левого и правого вращения. Эффект Фарадея. Использование эффекта Фарадея в технике СВЧ.</p>	
б.	<p>Отражение и преломление плоских волн на границе раздела двух сред</p>	<p>Связь углов падения, отражения и преломления с электродинамическими параметрами сред. Первый и второй законы Снеллиуса.</p> <p>Представление произвольно поляризованной волны как суперпозиции нормально и параллельно поляризованных волн.</p> <p>Падение нормально поляризованной волны на границу раздела двух диэлектрических сред. Законы отражения и преломления. Коэффициенты отражения и прохождения (формулы Френеля). Падение параллельно поляризованной волны на границу раздела двух диэлектрических сред. Явление полного прохождения, угол Брюстера. Явление полного отражения от границы раздела двух диэлектрических сред.</p> <p>Условия возникновения полного отражения, структура поля над и под границей раздела, поверхности равных фаз и равных амплитуд, фазовая скорость, длина волны, скорость переноса энергии. Понятие поверхностной волны. Отражение от идеально проводящей поверхности; структура поля.</p> <p>Падение плоской волны на границу раздела диэлектрика и поглощающей среды. Неоднородная плоская волна в поглощающей среде. Определение действительного угла преломления. Проникновение поля в</p>	<p>Ответы на контрольные вопросы и задания</p>

		проводник, поверхностный эффект, глубина проникновения. Понятие поверхностного импеданса. Приближенные граничные условия Леонтовича, условия их применимости. Расчет потерь энергии в проводниках с помощью граничных условий Леонтовича. Прохождение плоской волны через пластину. Понятие экрана для электромагнитного поля. Тонкие и толстые экраны. Многослойные экраны.	
7.	Общие свойства волн, распространяющихся в линиях передачи	Направляемые электромагнитные волны. Понятие о линиях передачи. Типы регулярных линий передачи. Классификация направляемых волн: волны Т, Е, Н, гибридные волны. Решение уравнений Гельмгольца для направляемых волн. Связь поперечных составляющих векторов поля с продольными. Постоянная распространения, критическая частота (критическая длина волны), длина волны в линии передачи, фазовая скорость, характеристическое сопротивление. Общие свойства волн типа Т, Е, и Н. Скорость распространения энергии. Дисперсия. Понятие об одноволновом и многоволновом режимах работы. Мощность, переносимая электромагнитной волной в линии передачи. Затухание волн в регулярных линиях.	Ответы на контрольные вопросы и задания
8.	Полые металлические волноводы	Прямоугольные волноводы. Волны типа Е и Н. Структура поля. Основная волна прямоугольного волновода. Выбор размеров для одноволнового режима работы. Токи на стенках волновода при волне основного типа. Коэффициент ослабления. Электрическая и тепловая прочность. Многоволновый режимы работы; фильтрация высших типов волн. Область применения прямоугольных волноводов. Круглые волноводы. Структура поля волн типа Е и Н. Волна основного типа и ее характеристики. Выбор поперечных размеров для одноволнового режима работы. Многоволновые волноводы; способы фильтрации высших типов волн. Область применения круглых волноводов. Волноводы специальной формы. Волноводы П-и Н-образной формы.	Ответы на контрольные вопросы и задания
9.	Линии передачи с Т волнами	Коаксиальный волновод. Волна Т: структура поля, волновое сопротивление, переносимая мощность. Структура токов на внешнем и внутреннем проводниках. Ослабление волн типа Т при распространении, коэффициент ослабления. Высшие типы волн.	Ответы на контрольные вопросы и задания



		<p>Условие одно- волнового режима работы. Электрическая и тепловая прочность. Критерии выбора волнового сопротивления. Гофрированные коаксиальные волноводы. Область применения коаксиальных волноводов. Симметричная двухпроводная линия передачи. Волна Т: структура поля, волновое сопротивление. Распределение токов по сечению проводников. Выбор размеров поперечного сечения линии. Коэффициент ослабления. Электрическая и тепловая прочность. Экранированные двухпроводные линии. Линии типа "витая пара". Область применения двухпроводных линий. Полосковые линии передачи и их разновидности. Симметричные и несимметричные полосковые линии. Структура поля основной волны типа Т. Основные характеристики полосковых линий. Волновое сопротивление. Выбор размеров поперечного сечения. Микрополосковые линии. Щелевая и копланарная полосковые линии: структура поля основной волны квази-Т типа. Электрическая и тепловая прочность полосковых линий. Область применения полосковых линий.</p>	
10.	Математическая модель линии передачи	<p>Регулярная линия передачи. Падающие и отраженные волны. Ортогональность распространяющихся падающей и отраженной волн. Нормированное напряжение и ток в линии передачи. Входное сопротивление отрезка линии передачи с нагрузкой. Режимы работы линии. Коэффициент отражения, коэффициент бегущей (стоячей) волны. Условие согласования линии с нагрузкой. Влияние отражения от нагрузки на КПД линии передачи. Круговая номограмма Вольперта-Смитта. Методы узкополосного согласования. Четвертьволновый трансформатор сопротивлений. Шлейфное согласование. Методы широкополосного согласования.</p>	<p>Ответы на контрольные вопросы и задания</p>
11.	Применение матриц для анализа СВЧ устройств	<p>Волновые матрицы рассеяния и передачи. Физический смысл элементов матрицы рассеяния. Зависимость элементов матрицы рассеяния от выбора плоскостей отсчета. Коэффициент отражения на входе нагруженного четырехполюсника. Каскадное соединение четырехполюсников. Матрицы рассеяния простейших четырехполюсников. Применение волновых матриц для компьютерного анализа устройств СВЧ. Метод декомпозиции.</p>	<p>Ответы на контрольные вопросы и задания</p>

12.	Элементы линий передачи	<p>Возбуждение электромагнитных волн в линиях передачи. Возбудители типов волн. Сочленения и изгибы линий передачи. Трансформаторы типов волн. Фильтры типов волн.</p> <p>Короткозамкнутые поршни, согласованные нагрузки. Разветвление линий передачи.</p> <p>Конструктивные неоднородности: диафрагмы, реактивные штыри, шлейфы, стыки линий с разными поперечными размерами. Управление амплитудой, фазой и поляризацией электромагнитных волн в линиях передачи.</p> <p>Аттенюаторы, фазовращатели, поляризаторы. Направленные ответвители.</p> <p>Двойной волноводный тройник.</p>	<p>Ответы на контрольные вопросы и задания</p>
13.	Объемные резонаторы	<p>Квазистационарные резонаторы. Резонансная частота и добротность. Резонатор как отрезок линии передачи. Классификация типов колебаний в объемных резонаторах. Свободные (собственные) колебания объёмных резонаторов. Резонансная частота, собственная (ненагруженная) добротность. Вынужденные колебания резонаторов, связанных с источником энергии и нагрузкой. Внешняя добротность. Полная (нагруженная) добротность резонаторов.</p> <p>Прямоугольные и цилиндрические резонаторы. Коаксиальные и полосковые резонаторы. Открытые резонаторы. Диэлектрические резонаторы. Возбуждение волн в резонаторах. Проподные резонаторы. Фильтры СВЧ.</p>	<p>Ответы на контрольные вопросы и задания</p>
14.	Излучение электромагнитных волн	<p>Неоднородные волновые уравнения для векторов гармонических электромагнитных полей. Скалярный и векторный электродинамические потенциалы гармонических полей. Электромагнитное поле произвольного источника. Элементарный электрический излучатель. Определение векторов электромагнитного поля, создаваемого элементарным электрическим излучателем в однородной неограниченной изотропной среде.</p> <p>Анализ структуры поля. Особенности поля в ближней зоне. Поле излучателя в дальней зоне: ориентация векторов электромагнитного поля, фронт волны, фазовая скорость, характеристическое сопротивление. Диаграмма направленности элементарного электрического излучателя, коэффициент направленного действия (КНД). Излучаемая мощность и сопротивление излучения. Элементарный магнитный излучатель. Использование принципа двойственности для определения векторов электромагнитного поля, создаваемого</p>	<p>Ответы на контрольные вопросы и задания</p>

	<p>элементарным магнитным излучателем в неограниченной однородной изотропной среде. Структура поля излучателя. Элементарная рамочная антенна как физические аналоги элементарного магнитного излучателя. Элемент Гюйгенса. Структура поля элемента Гюйгенса. Диаграмма направленности, КНД. Применение модели элемента Гюйгенса для анализа излучения апертурных антенн и задач дифракции радиоволн.</p>	
--	--	--

### 2.3.2 Занятия семинарского типа (практические работы)

№	Наименование раздела (темы)	Тематика занятий/работ	Форма текущего контроля
1.	Основные уравнения электромагнитного поля	<p>Основные уравнения электромагнитного поля - уравнения Максвелла. Векторы электромагнитного поля. Макроскопические параметры материальных сред. Классификация и виды сред. Скалярные и тензорные параметры сред. Материальные уравнения.</p> <p>Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной форме. Уравнение непрерывности и закон сохранения заряда. Сторонние источники. Полная система уравнений Максвелла с учётом сторонних источников. Плотность электромагнитной энергии и энергия, сосредоточенная в объеме. Плотность мощности и мощность тепловых потерь и сторонних источников. Уравнение баланса для мгновенных значений мощности в дифференциальной и интегральной форме (теорема Пойтинга). Физическая трактовка.</p>	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
2.	Граничные условия электродинамики	<p>Поведение векторов на границе раздела двух сред. Граничные условия для нормальных и касательных составляющих векторов электромагнитного поля. Граничные условия на поверхности идеального проводника.</p>	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
3.	Плоские электромагнитные волны	<p>Плоская волна как предельный случай сферической волны. Решение системы уравнений Максвелла для плоской однородной волны. Свойства плоской волны. Структура поля, Взаимная ориентация векторов поля, коэффициент фазы, фазовая скорость, скорость распространения энергии, характеристическое сопротивление. Плоские однородные волны в однородной изотропной среде без потерь.</p> <p>Плоская однородная волна в однородной среде с потерями. Свойства волн. Дисперсионные свойства поглощающей среды.</p> <p>Поляризация волн. Линейно поляризованные волны. Волны с круговой и эллиптической поляризацией. Плоские однородные волны в однородной анизотропной среде.</p>	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания

4.	Отражение и преломление плоских волн на границе раздела двух сред	Связь углов падения, отражения и преломления с электродинамическими параметрами сред. Первый и второй законы Снелля. Представление произвольно поляризованной волны как суперпозиции нормально и параллельно поляризованных волн. Падение нормально поляризованной волны на границу раздела двух диэлектрических сред. Законы отражения и преломления. Коэффициенты отражения и прохождения (формулы Френеля).	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
5.	Общие свойства волн, распространяющихся в линиях передачи	Направляемые электромагнитные волны. Понятие о линиях передачи. Типы регулярных линий передачи. Классификация направляемых волн: волны Т, Е, Н, гибридные волны. Решение уравнений Гельмгольца для направляемых волн.	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
6.	Полые металлические волноводы	Прямоугольные волноводы. Волны типа Е и Н. Структура поля. Основная волна прямоугольного волновода. Выбор размеров для одноволнового режима работы. Токи на стенках волновода при волне основного типа. Коэффициент ослабления. Электрическая и тепловая прочность.	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
7.	Линии передачи с Т волнами	Коаксиальный волновод. Волна Т: структура поля, волновое сопротивление, переносимая мощность. Структура токов на внешнем и внутреннем проводниках. Ослабление волн типа Т при распространении, коэффициент ослабления. Высшие типы волн. Условие одно- волнового режима работы. Электрическая и тепловая прочность. Критерии выбора волнового сопротивления. Гофрированные коаксиальные волноводы. Область применения коаксиальных волноводов. Симметричная двухпроводная линия передачи. Волна Т: структура поля, волновое сопротивление. Распределение токов по сечению проводников. Выбор размеров поперечного сечения линии.	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
8.	Математическая модель линии передачи	Регулярная линия передачи. Падающие и отраженные волны. Ортогональность распространяющихся падающей и отраженной волн. Нормированное напряжение и ток в линии передачи. Входное сопротивление отрезка линии передачи с нагрузкой. Режимы работы линии. Коэффициент отражения, коэффициент бегущей (стоячей) волны.	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
9.	Применение матриц для анализа СВЧ устройств	Волновые матрицы рассеяния и передачи. Физический смысл элементов матрицы рассеяния. Зависимость элементов матрицы рассеяния от выбора плоскостей отсчета. Коэффициент отражения на входе нагруженного четырехполюсника. Каскадное соединение четырехполюсников. Матрицы рассеяния простейших четырехполюсников. Применение волновых матриц для компьютерного анализа устройств СВЧ. Метод декомпозиции.	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания

### 2.3.3 Занятия семинарского типа (лабораторные работы)

№	Наименование раздела (темы)	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1.	Основные уравнения электромагнитного поля	Исследование структуры поля собственных волн линий передачи СВЧ диапазона.	Защита лабораторной работы (ЛР)
2.	Граничные условия электродинамики	Исследование дисперсии и затухания в линиях передачи СВЧ диапазона основной волны Н <sub>10</sub> прямоугольного волновода	Защита лабораторной работы (ЛР)
3.	Уравнения электродинамики для монохроматического поля	Исследование объемных резонаторов на основе волновода круглого сечения с колебанием Н <sub>011</sub>	Защита лабораторной работы (ЛР)
4.	Плоские электромагнитные волны	Экспериментальное исследование и проверка графического решения задачи согласования линии передачи с нагрузкой с помощью номограммы Вольперта-Смитта	Защита лабораторной работы (ЛР)
5.	Отражение и преломление плоских волн на границе раздела двух сред	Исследование поляризации электромагнитных волн	Защита лабораторной работы (ЛР)
6.	Общие свойства волн, распространяющихся в линиях передачи	Эффект Фарадея в круглом волноводе	Защита лабораторной работы (ЛР)
7.	Полые металлические волноводы	Исследование волноводных направленных ответвителей и мостовых устройств	Защита лабораторной работы (ЛР)
8.	Линии передачи с Т волнами	Методы моделирования СВЧ устройств на компьютерах	Защита лабораторной работы (ЛР)
9.	Математическая модель линии передачи	Микрополосковая линия передачи, экспериментальное исследование волнового сопротивления и сравнение с рассчитанной моделью на компьютере	Защита лабораторной работы (ЛР)
10.	Применение матриц для анализа СВЧ устройств	Методы узкополосного согласования линии с нагрузкой (моделирование на компьютере)	Защита лабораторной работы (ЛР)
11.	Элементы линий передачи	Расчет полосового фильтра на полосковых линиях (моделируется на компьютере)	Защита лабораторной работы (ЛР)
12.	Объемные резонаторы	Аттестация параметров векторного анализатора цепей	Защита лабораторной работы (ЛР)

При изучении дисциплины могут применяться электронное обучение, дистанционные образовательные технологии в соответствии с ФГОС ВО.

### 2.3.3 Примерная тематика курсовых проектов

Не предусмотрено

#### 2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	Проработка учебного (теоретического) материала	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Теория колебаний», утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от «20» марта 2017 г.
2	Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Теория колебаний», утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от «20» марта 2017 г.
3	Подготовка к текущему контролю	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Теория колебаний», утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от «20» марта 2017 г.
4	Подготовка к практическим занятиям	Методические указания по решению задач по дисциплине «Теория колебаний», утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от «20» марта 2017 г.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,
- в печатной форме на языке Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

### 3. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины (модуля)

В ходе изучения дисциплины предусмотрено использование следующих образовательных технологий: лекции, практические занятия, проблемное обучение, модульная технология, подготовка письменных аналитических работ, самостоятельная работа студентов.

Компетентностный подход в рамках преподавания дисциплины реализуется в использовании интерактивных технологий и активных методов (проектных методик, мозгового штурма, разбора конкретных ситуаций, анализа педагогических задач, педагогического эксперимента, иных форм) в сочетании с внеаудиторной работой.

Информационные технологии, применяемые при изучении дисциплины: использование информационных ресурсов, доступных в информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

Адаптивные образовательные технологии, применяемые при изучении дисциплины – для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

### 15. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Б1.О.20 Электромагнитные поля и волны».

Оценочные средства включает контрольные материалы для проведения **текущего контроля** в форме тестовых заданий, доклада-презентации по проблемным вопросам, разноуровневых заданий, проверка домашних заданий по практическим занятиям и проверка отчетов по лабораторным работам, ответы на контрольные вопросы, приведенные в описаниях работ и на дополнительные вопросы, касающиеся соответствующих разделов основной дисциплины и **промежуточной аттестации** в форме вопросов и заданий к экзамену.

#### Структура оценочных средств для текущей и промежуточной аттестации

№ п/п	Код и наименование индикатора (в соответствии с п. 1.4)	Результаты обучения (в соответствии с п. 1.4)	Наименование оценочного средства	
			Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	<p>знает: - прикладные задачи в области применения электромагнитных полей в разработке электронных приборов и устройств, выполняющих различные функции в системах преобразования и передачи информации; опасности и угрозы использования СВЧ излучения в инфокоммуникационных системах;</p> <p>- особенности распространения радиоволн различных диапазонов на трассах радиосвязи;</p> <p>- принципы построения, характеристики и особенности работы антеннофидерных устройств.</p> <p>умеет: проводить анализ технической</p>	Контрольные вопросы блоки 1-12 Варианты контрольных работ 1-5 Материалы лекций Вопросы для устного (письменного) опроса по теме, разделу Опрос Лабораторные работы с 1-2	Вопрос на экзамене 1-30

		<p>информации, связанной с электромагнитными явлениями в области информационной безопасности.</p> <p>владеет: практическими навыками измерения комплексных 8-параметров линейных одно- и двухпортовых устройств, различных характеристик нелинейных цепей, на современном метрологическом оборудовании.</p>		
--	--	---	--	--

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

**Контрольные вопросы**

1. Введение. Основные понятия и определения теории ЭМП.
  - 1.1. Назовите основные исторические этапы развития теории ЭМП.
  - 1.2. Дайте определение ЭМП, электрическому заряду, перечислите основные свойства ЭМП.
  - 1.3. Можно ли ЭМП разделить на электрическое и магнитное поля?
  - 1.4. Дайте определение векторам, характеризующим ЭМП.
  - 1.5. Чем векторное поле отличается от скалярного?
  - 1.6. Назовите основные отличия между понятиями «поле» и «вещество».
  - 1.7. Укажите единицы измерения основных величин ЭМП.
  - 1.8. Как классифицируются векторные поля?
  - 1.9. Дайте определение градиенту, дивергенции, ротору векторного поля.
  - 1.10. Дайте определение циркуляции и потоку вектора.
  - 1.11. Запишите систему уравнений Максвелла в интегральной форме, укажите физическое содержание каждого уравнения системы.
  - 1.12. Запишите систему уравнений Максвелла в дифференциальной форме, укажите физическое содержание каждого уравнения системы.
  - 1.13. В чем заключается заслуга Максвелла в формировании теории ЭМП?
  - 1.14. Какая форма уравнений Максвелла (дифференциальная или интегральная) лучше отражает свойства ЭМП?
  - 1.15. Какое уравнение Максвелла описывает закон ЭМ индукции?
  - 1.16. Какое уравнение Максвелла обобщает закон Био-Савара?
  - 1.17. На какие классы можно разделить среды по  $\epsilon$ ?
  - 1.18. Дайте формулировку граничных условий для нормальных составляющих векторов ЭМП.
  - 1.19. Сформулируйте граничные условия для касательных составляющих векторов ЭМП.
2. Энергия и мощность ЭМП.
  - 2.1. Сформулируйте закон баланса энергии для ЭМП.
  - 2.2. Укажите физический смысл, правила ориентации, единицу измерения вектора Пойнтинга.
  - 2.3. Назовите основные разновидности мощностей.



- 2.4. Проанализируйте баланс энергии ЭМП в замкнутом последовательном контуре с потерями и без потерь.
- 2.5. Какие величины характеризуют изменение запаса ЭМ энергии в системе?
- 2.6. Каков смысл мнимой части вектора Пойнтинга и мощности излучения?
- 2.7. Как определяется вектор Пойнтинга изотропного источника?
3. Решения уравнений Максвелла при заданных источниках.
  - 3.1. Чем волна отличается от колебания?
  - 3.2. Чем отличаются волновые уравнения Д'Аламбера и Гельмгольца?
  - 3.3. Следует ли из волновых уравнений независимость электрической и магнитной составляющих ЭМП?
  - 3.4. Можно ли считать свет ЭМ волной?
  - 3.5. Какие упрощения возможны в волновых уравнениях для сред без потерь?
  - 3.6. Можно ли по виду электрической или магнитной составляющей плоской ЭМВ определить расположение другой составляющей ЭМП и направление распространения ЭМВ?
  - 3.7. Что представляет собой простейшее решение системы уравнений Максвелла?
  - 3.8. Дайте определение волнового фронта.
  - 3.9. Почему плотность потока энергии сферической волны уменьшается при удалении от источника даже в пространстве без потерь?
4. Плоские волны в однородной среде.
  - 4.1. Какие упрощения в анализе ЭМП дает понятие «плоская волна»? В каких практических случаях допустимо ЭМВ считать плоской?
  - 4.2. Чем отличаются однородные и неоднородные плоские волны?
  - 4.3. Дайте определение коэффициентам затухания и фазы плоской ЭМВ.
  - 4.4. Чем отличается волновое число от комплексного коэффициента распространения?
  - 4.5. Какова пространственная структура плоской ЭМВ?
  - 4.6. Как определить направление распространения ЭМВ?
  - 4.7. Как с помощью понятия «толщины поверхностного слоя» можно оценить преимущественную концентрацию ЭМП?
  - 4.8. Дайте определение основным характеристикам ЭМВ.
  - 4.9. Чем групповая скорость отличается от фазовой?
  - 4.10. Может ли фазовая скорость иметь бесконечное значение?
  - 4.11. Чем волновое сопротивление отличается от характеристического?
  - 4.12. Является ли групповая скорость скоростью передачи энергии?
  - 4.13. Дайте определение диэлектрика с точки зрения теории ЭМП.
  - 4.14. Дайте определение проводника с точки зрения теории ЭМП.
  - 4.15. Укажите последовательность анализа ЭМП и распространения ЭМВ в среде с заданными параметрами.
  - 4.16. Что дает классификация ЭМ свойств сред в зависимости от  $\epsilon$ ?
  - 4.17. Какие разновидности диэлектриков можно выделить в зависимости от молекулярной структуры вещества и ЭМ свойств?
  - 4.18. На какие группы делятся вещества в зависимости от их магнитных свойств?
  - 4.19. Укажите физические основы микроволнового нагрева.
  - 4.20. Сравните характеристики распространения ЭМВ в диэлектриках с потерями, без потерь и в проводящих средах.
  - 4.21. Укажите основные особенности частотной характеристики и дайте характеристику поведения импеданса проводника.
  - 4.22. Дайте характеристику граничным условиям для идеального проводника.
  - 4.23. Каковы критерии выбора металла для экранирования пространства от ЭМП?
  - 4.24. Каковы критерии выбора металла для локализации ЭМП с минимальными потерями?
  - 4.25. Почему групповую скорость ЭМВ в металле можно принять равной нулю?
  - 4.26. Можно ли использовать микроволновую печь для нагрева металлов?

- 4.27. Дайте характеристику поведения коэффициента затухания ЭМВ для проводника и диэлектрика с ростом частоты.
- 4.28. Какова частотная характеристика коэффициента фазы для проводников и диэлектриков?
- 4.29. Дайте определение поляризации ЭМВ и укажите основные разновидности поляризации.
- 4.30. Можно ли из двух ЭМВ линейной поляризации получить ЭМВ круговой поляризации?
- 4.31. Можно ли из двух ЭМВ круговой поляризации получить ЭМВ линейной поляризации?
- 4.32. Антенна настроена на прием ЭМВ определенной поляризации. Будет ли она принимать ЭМВ с поляризацией, ортогональной основной?
5. Классификация ЭМП. Скалярный и векторный потенциалы ЭМП.
- 5.1. Дайте определение электродинамическим потенциалам ЭМП. Что дает введение электродинамических потенциалов?
- 5.2. С помощью какого из электродинамических потенциалов можно охарактеризовать потенциальную энергию зарядов в электростатическом поле?
- 5.3. Какой потенциал связан с потенциальной энергией токов в случае стационарного магнитного поля?
- 5.4. Каково место электродинамических потенциалов в теории ЭМП и теории антенн?
- 5.5. Почему потенциалы называют «запаздывающими»?
- 5.6. Можно ли скалярный потенциал назвать «электростатическим»?
- 5.7. На какие классы можно разделить ЭМП?
- 5.8. Дайте определение основным разновидностям ЭМП. Укажите основные особенности ЭМ процессов для ЭМП различных типов.
- 5.9. Каковы условия применимости геометрической оптики для анализа ЭМП?
- 5.10. Какие упрощения в анализе ЭМП допустимы для весьма высоких частот?
- 5.11. При каких условиях применимо понятие «квазистационарного ЭМП»? Какие упрощения в анализе допустимы для квазистационарного ЭМП?
- 5.12. Какое сходство наблюдается в явлениях электростатики и магнитостатики?
- 5.13. Какие аналогии существуют у статических и стационарных ЭМП?
- 5.14. При каких условиях можно пренебречь волновым характером ЭМП?
- 5.15. Какие принципиальные отличия существуют между законами электротехники и электродинамики?
- 5.16. Назовите основные допущения, позволяющие перейти от законов электродинамики к 15 основным уравнениям электротехники и теории электрических цепей.
6. ЭМВ на границе раздела сред.
- 6.1. Сформулируйте законы Снеллиуса.
- 6.2. Являются ли законы отражения и преломления плоских волн на границе раздела сред фундаментальными законами природы?
- 6.3. Дайте определение коэффициентам отражения и прохождения. Какова область значений этих величин?
- 6.4. Каково поведение ЭМВ параллельной поляризации на границе раздела сред?
- 6.5. Охарактеризуйте поведение ЭМВ перпендикулярной поляризации на границе раздела.
- 6.6. Укажите условие согласования сред.
- 6.7. Назовите условия полного прохождения.
- 6.8. Назовите условия полного отражения.
- 6.9. При критическом угле падения исчезает прошедшая волна. Что наблюдается, если угол падения больше критического?
- 6.10. Как изменяются условия прохождения ЭМВ через границу раздела в средах с потерями?

- 6.11. Возможно ли полное отражение ЭМВ от границы раздела диэлектриков с потерями?
- 6.12. Дайте определение стоячей волне и объясните особенности ее ЭМП.
- 6.13. Почему стоячая ЭМВ не переносит энергию, хотя векторы ее ЭМП существуют и не равны нулю?
- 6.14. Дайте определение и укажите область значений КСВ и КБВ.
- 6.15. Можно ли получить стоячую волну из бегущих волн?
7. Основные теоремы и принципы электродинамики.
- 7.1. Сформулируйте условие излучения на бесконечность.
- 7.2. Какой смысл имеет теорема единственности?
- 7.3. Дайте характеристику принципу двойственности.
- 7.4. Дайте определение принципу взаимности.
- 7.5. Какое значение принцип взаимности имеет для теории антенн?
- 7.6. Дайте характеристику принципу эквивалентности.
- 7.7. Дайте определение принципу Гюйгенса.
- 7.8. Какие упрощения в анализе ЭМП возможны с помощью принципа суперпозиции?
- 7.9. Дайте характеристику принципу электродинамического подобия.
- 7.10. Приведите примеры электродинамически подобных задач и систем.
- 7.11. Какой смысл в электродинамике имеют магнитные токи и заряды?
- 7.12. Что дает введение в систему уравнений ЭМП магнитных источников?
8. Излучение ЭМП.
- 8.1. Приведите примеры «вредного» и «полезного» излучения.
- 8.2. Дайте характеристику зонам излучения антенны.
- 8.3. Укажите особенности ЭМП в дальней зоне.
- 8.4. Какие упрощения в анализе дает приближение дальней зоны?
- 8.5. Как определяется расстояние дальней зоны?
- 8.6. На какие составляющие делят комплексную ДН?
- 8.7. Опишите основные разновидности элементарных излучателей.
- 8.8. Какие приближения используют при определении ЭМП элементарных излучателей.
- 8.9. Дайте характеристику ЭМП электрического диполя. Опишите ДН.
- 8.10. Дайте характеристику ЭМП диполя Герца в ближней зоне.
- 8.11. Дайте характеристику ЭМП электрического диполя в дальней зоне.
- 8.12. Дайте характеристику свойствам элементарных излучателей. Опишите ДН.
- 8.13. Дайте определение сопротивлению и проводимости излучения.
- 8.14. Укажите основные отличия магнитного диполя от электрического.
- 8.15. Как реализуется магнитный диполь в практических конструкциях?
- 8.16. Почему рамки с током не излучают в осевом направлении?
- 8.17. Дайте характеристику излучателю Гюйгенса. Опишите особенности ДН излучателя Гюйгенса.
- 8.18. Объясните отличия в эффективности излучения двухпроводной линии и вибраторной антенны.
- 8.19. Объясните, как  $\hat{C}$ -контур сделать излучающей системой.
9. ЭМВ в анизотропной среде.
- 9.1. Дайте определение анизотропной среды. Приведите примеры таких сред.
- 9.2. Дайте определение гиротропной среды.
- 9.3. Что такое продольный ферромагнитный резонанс?
- 9.4. Дайте определение эффекту Фарадея и постоянной Фарадея.
- 9.5. Опишите свойства обыкновенной и необыкновенной ЭМВ в поперечно-намагниченном феррите.
- 9.6. Дайте характеристику поведения векторов ЭМП в феррите.
- 9.7. Дайте определение поперечного ферромагнитного резонанса.
- 9.8. Опишите эффект Коттона - Мутона.
- 9.9. Укажите возможные применения анизотропии ферритов в технике СВЧ.

10. Понятие о дифракции ЭМВ.
  - 10.1. Дайте определение явлению дифракции.
  - 10.2. Дайте характеристику основным методам решения задач дифракции.
  - 10.3. Каковы пределы применимости метода геометрической оптики?
  - 10.4. Какие особенности имеет метод физической оптики?
  - 10.5. Дайте определение зонам Френеля.
  - 10.6. Какие особенности имеет дифракция Фраунгофера?
11. Основные разновидности ЛП. Общие свойства волн, распространяющихся в ЛП.
  - 11.1. Дайте определение направляющим системам.
  - 11.2. Какие отличия имеют регулярные и нерегулярные линии?
  - 11.3. Как классифицируются направляемые ЭМВ?
  - 11.4. Как можно использовать связь между продольными и поперечными координатами при анализе направляемых ЭМВ?
  - 11.5. Дайте определение Т, Е, Н и гибридным волнам.
  - 11.6. На какие типы можно разделить линии передачи по количеству независимых проводящих поверхностей?
  - 11.7. Дайте сравнительную характеристику параметров линий передачи основных классов.
  - 11.8. Какие разновидности волноводов применяются в радиотехнике?
  - 11.9. Дайте характеристику распространения ЭМВ в односвязных волноводах.
  - 11.10. Дайте характеристику частотной зависимости групповой и фазовой скоростей в односвязных волноводах.
  - 11.11. Отличается ли длина волны генератора от длины ЭМВ в волноводе?
  - 11.12. Чем ограничивается уровень передаваемой мощности в односвязных волноводах?
  - 11.13. Чем ограничивается рабочая полоса частот односвязных волноводов?
  - 11.14. Какой тип волн является основным в прямоугольном волноводе?
  - 11.15. Почему рабочий и одномодовый диапазоны частот различаются?
  - 11.16. Какой тип волн является основным в круглом волноводе?
  - 11.17. Какие типы мод круглого волновода находят практическое применение? Какие моды следует использовать для передачи ЭМВ по круглому волноводу с минимальным затуханием?
    - 11.18. Какие достоинства имеет эллиптический волновод?
    - 11.19. Какие достоинства имеют волноводы П- и Н-образной формы сечения?
    - 11.20. Опишите частотную характеристику поведения затухания основных типов волн в односвязных волноводах.
    - 11.21. Сравните односвязные волноводы с другими типами линий передачи.
    - 11.22. Оцените дисперсию характеристик ЭМВ в односвязных волноводах.
    - 11.23. Как выбирают прямоугольный волновод на заданный диапазон частот?
    - 11.24. Опишите конструкции основных линий передачи Т-волны.
    - 11.25. Запишите формулы для вычисления волнового сопротивления линий передачи Т-волны основных типов.
    - 11.26. Опишите распределение ЭМП в пространстве линий передачи Т-волны.
    - 11.27. Поясните физический смысл понятий тока и напряжения в линиях передачи Т-волны.
    - 11.28. Дайте сравнительную характеристику параметров коаксиальной и двухпроводной линий.
    - 11.29. Какие достоинства имеет двухпроводная линия в виде «витой пары»?
    - 11.30. Назовите основные разновидности полосковых линий. Дайте сравнительную характеристику СПЛ и МПЛ.
    - 11.31. Какие особенности имеют многосвязные линии? Какое влияние оказывает синфазность или противофазность возбуждения проводников связанных линий? Укажите

основные разновидности и область применения многосвязных ЛП.

11.32. По каким критериям выбирают 2с коаксиальных линий? Для каких радиотехнических целей используются коаксиальные кабели с характеристическим сопротивлением 50 и 75 Ом?

11.33. Опишите конструкцию и принцип работы световода. Какое физическое явление положено в основу работы световода и диэлектрического волновода?

11.34. Назовите основные разновидности ОВ. Сравните характеристики этих ЛП с характеристиками ЛП других классов.

11.35. Какие достоинства имеет градиентный световод?

11.36. Чем отличаются характеристики одномодовых и многомодовых ОВ?

11.37. Назовите основные виды дисперсии в световодах. Дайте рекомендации для уменьшения дисперсии в ВОЛС.

11.38. Опишите конструкцию и принцип работы диэлектрического волновода. Опишите принцип работы линии Губо, планарных волноводов. Дайте сравнительную характеристику основных типов ЛП поверхностных волн. Какие типы волн являются основными в данных линиях?

11.39. Дайте определение нерегулярностям в ЛП. Опишите влияние нерегулярностей на распространение ЭМВ в ЛП?

11.40. Опишите явление трансформации сопротивлений в линии передачи.

11.41. Опишите поведение сопротивления линии при ее коротком замыкании.

11.42. Опишите поведение сопротивления разомкнутой линии.

11.43. Дайте определение свойству четвертьволновой трансформации.

11.44. Как отражения ЭМВ от нагрузки влияют на характеристики ЛП?

11.45. Приведите примеры эквивалентных емкостей и индуктивностей в линиях.

11.46. Дайте определение декомпозиции, матрицам рассеяния и передачи.

11.47. Дайте определение и объясните особенности ЭМП стоячей ЭМВ. Почему нежелательно появление стоячей ЭМВ в линии?

11.48. Дайте определение и укажите область значений КСВ и КБВ.

11.49. Опишите методику работы с диаграммой Смита - Вольперта.

12. Объемные резонаторы.

12.1. Дайте определение объемному резонатору.

12.2. Перечислите основные типы объемных резонаторов.

12.3. Сравните объемный резонатор с  $\wedge$ С-контуром.

12.4. Как определяется добротность объемного резонатора?

12.5. Назовите основные параметры объемных резонаторов.

12.6. Чем нагруженная добротность отличается от собственной?

12.7. Какие способы возбуждения объемных резонаторов вам известны?

12.8. Назовите основные типы открытых резонаторов.

12.9. Как накапливается энергия в открытых резонаторах?

12.10. Как определяются резонансные частоты объемных резонаторов?

12.11. Какие особенности имеют ферритовые резонаторы?

12.12. Как из регулярной линии можно сделать объемный резонатор?

### Варианты контрольных работ.

#### Вариант 1.

1. Электромагнитное поле как особый вид материи. Электрический заряд и электрический ток. Электрическое и магнитное поля как два проявления электромагнитного поля. Предмет изучения макроскопической электродинамики.

2. Теорема Гаусса для электростатического поля и постулат Максвелла. Третье уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Структура и физический смысл.

3. Граничные условия на поверхности идеального проводника.

4. Волны в диэлектрических средах. Параметры и дисперсионные свойства.

5. Параметры поперечных электромагнитных волн в линиях передачи. Условия

существования. Поперечный коэффициент распространения. Фазовая и групповая скорости.

6. Круглый волновод. Конструкция. Постановка электродинамической задачи и ее особенности в случаях электрических и магнитных волн.

#### **Вариант 2.**

1. Основные характеристики электромагнитного поля. Пондеромоторные силы.  
2. Четвертое уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Структура и физический смысл.

3. Монохроматическое электромагнитное поле. Метод комплексных амплитуд. Уравнения Максвелла для монохроматического поля. Комплексная диэлектрическая проницаемость среды. Диэлектрические потери.

4. Волны в проводящих средах. Глубина проникновения поля в материал.

5. Параметры электрических электромагнитных волн в линиях передачи. Условия существования. Поперечный коэффициент распространения. Фазовая и групповая скорости.

6. Структура поля и параметры основной волны круглого волновода.

#### **Вариант 3.**

1. Макроскопические параметры среды. Виды сред и их классификация по характеру взаимодействия с электромагнитным полем. Материальные уравнения.

2. Закон сохранения электрического заряда и уравнение непрерывности линий электрического тока. Закон Ома в дифференциальной форме.

3. Баланс энергии электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга. Физический смысл слагаемых входящих в уравнение баланса. Плотность потока энергии поля.

4. Принципы работы направляющих систем. Закрытые и открытые линии передачи.

5. Параметры магнитных электромагнитных волн в линиях передачи. Условия существования. Поперечный коэффициент распространения. Фазовая и групповая скорости.

6. Затухание направляемых волн. Потери в заполнении и в металлических стенках. Комплексный коэффициент распространения. Коэффициент затухания и глубина проникновения поля в стенки волновода.

#### **Вариант 4.**

1. Закон полного тока. Первое уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Структура и физический смысл. Токи проводимости и смещения.

2. Классификация электродинамических задач. Степень взаимной обусловленности электрического и магнитного полей.

3. Баланс энергии монохроматического поля. Теорема Умова-Пойнтинга в комплексной форме. Среднее значение вектора Пойнтинга. Баланс активной и реактивной мощностей.

4. Классификация направляемых волн. Продольные поперечные волны и гибридные волны. Связь между продольными и поперечными компонентами ЭМП в линиях передачи.

5. Прямоугольный волновод. Конструкция. Постановка электродинамической задачи и ее особенности в случаях электрических и магнитных волн.

6. Граничные условия на поверхности, ограничивающей направляющую систему. Токи на стенках круглого волновода в режиме основной волны.

#### **Вариант 5.**

1. Закон электромагнитной индукции. Второе уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Структура и физический смысл.

2. Граничные условия на поверхности раздела сред с различными макроскопическими параметрами. Поверхностные заряды и токи

3. Волновые уравнения для монохроматического поля. Однородные и неоднородные уравнения Гельмгольца.

4. Параметры направляемых волн. Поперечный коэффициент распространения. Критическая длина волны и критическая частота. Волна основного типа. Условие одноволнового режима.

5. Структура поля и параметры основной волны прямоугольного волновода.

6. Структура поля и параметры направляемых волн в коаксиальном волноводе. Волновое сопротивление. Конструктивные особенности коаксиальных волнопроводов.

### **Перечень лабораторных работ**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1: Исследование структуры поля собственных волн линий передачи СВЧ диапазона.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2: Исследование дисперсии и затухания в линиях передачи СВЧ диапазона основной волны  $H_{10}$  прямоугольного волновода

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3: Исследование объемных резонаторов на основе волновода круглого сечения с колебанием  $H_{011}$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4: Экспериментальное исследование и проверка графического решения задачи согласования линии передачи с нагрузкой с помощью номограммы Вольперта-Смитта

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5: Исследование поляризации электромагнитных волн

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6: Эффект Фарадея в круглом волноводе

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7: Исследование волноводных направленных ответвителей и мостовых устройств

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8: Методы моделирования СВЧ устройств на компьютерах

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9: Микрополосковая линия передачи, экспериментальное исследование волнового сопротивления и сравнение с рассчитанной моделью на компьютере

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10: Методы узкополосного согласования линии с нагрузкой (моделирование на компьютере)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11: Расчет полосового фильтра на полосковых линиях (моделируется на компьютере)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12: Аттестация параметров векторного анализатора цепей

### **Вопросы для самостоятельной работы**

- 1) Основные характеристики электромагнитного поля.
- 2) Первое уравнение Максвелла, его физический смысл.
- 3) Второе уравнение Максвелла, его физический смысл.
- 4) Уравнения Максвелла в комплексной форме.
- 5) Комплексная диэлектрическая проницаемость.
- 6) Граничные условия для электрических составляющих поля.
- 7) Граничные условия для магнитных составляющих поля.
- 8) Сторонние токи и заряды.
- 9) Основные теоремы электродинамики.
- 10) Баланс энергии электромагнитного поля.
- 11) Вектор Пойнтинга.
- 12) Запаздывающие потенциалы.
- 13) Элементарный электрический излучатель (ЭЭИ).
- 14) Структура электромагнитного поля ЭЭИ.
- 15) Мощность и сопротивление излучения элементарного излучателя.
- 16) Коэффициент направленного действия и коэффициент усиления излучателя.
- 17) Элементарный магнитный излучатель.
- 18) Элемент Гюйгенса.
- 19) Формулы радиосвязи для идеальной радиолинии.

- 20) Формула радиолокации для идеальной радиолинии.
- 21) Пространство, существенное для прохождения радиоволн.
- 22) Множитель ослабления и коэффициент поглощения.
- 23) Распространение метровых волн в атмосфере Земли.
- 24) Распространение декаметровых волн в атмосфере Земли.
- 25) Распространение гектометровых волн в атмосфере Земли.
- 26) Длинные линии передачи и их свойства.
- 27) Первичные параметры длинных линий.
- 27) Телеграфные уравнения.
- 28) Вторичные параметры длинных линий.
- 29) Входное сопротивление линии в режиме короткого замыкания.
- 30) Входное сопротивление линии в режиме холостого хода.
- 31) Круговая диаграмма полных сопротивлений.
- 32) Поперечно-электрические поля в прямоугольном волноводе.
- 33) Поперечно-магнитные поля в прямоугольном волноводе.
- 34) Волна основного типа в прямоугольном волноводе.
- 35) Понятие о резонаторах СВЧ.
- 36) Элементы волноводного тракта.

**Зачетно-экзаменационные материалы для промежуточной аттестации  
(экзамен)**

**Вопросы к экзамену**

1. Возбуждение и электрическая прочность волноводов.
2. Потери в волноводах.
3. Структура поля и эюры волны типа **H10** в прямоугольном волноводе.
4. Типы волн в волноводах прямоугольного поперечного сечения. Критическая длина волны.
5. Свойства дисперсных волн в микроволновых передающих линиях.
6. Структура поля и эюры волны типа **E01** в круглом волноводе.
7. Собственная и нагруженная добротность полых резонаторов.
8. Передача энергии по волноводам. Пробивное напряжение.
9. Типы колебаний полых резонаторов и области их применения.
10. Основные характеристики замедляющих систем.
11. Общие свойства замедленных волн.
12. Решение волнового уравнения для замедляющих систем.
13. Свойства пространственных гармоник в периодических замедляющих системах.
14. Свойства замедляющей системы типа «гребенка».
15. Свойства замедляющей системы типа «спираль».
16. Электростатическое поле. Скалярный потенциал. Уравнение для вычисления скалярного потенциала.
17. Законы электромагнитного поля в интегральной и дифференциальной форме.
18. Параметры полых резонаторов. Собственная и нагруженная добротность.
19. Электрическое поле в проводящей среде. Энергия электрического поля.
20. Поле в несовершенных диэлектриках. Уравнение вязкости среды.
21. Переменное электромагнитное поле. Теорема Умова-Пойинтинга.
22. Переменное электромагнитное поле. Электродинамические потенциалы.
23. Неоднородности в волноводах и метод эквивалентных схем.
24. Коэффициент отражения и вопросы согласования волноводов.
25. Свойства дисперсных волн микроволновых линий передач.



26. Магнитное поле. Векторный и скалярный потенциалы магнитного поля.
27. Переменное электромагнитное поле в проводящей среде.
28. Переменное электромагнитное поле в идеальном диэлектрике.
29. Коэффициент отражения и свойства стоячих волн.
30. Периодические замедляющие системы. Пространственные гармоники.

### Критерии оценивания результатов обучения

Оценка	Критерии оценивания по экзамену
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку «отлично» заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку «хорошо» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

## **5. Перечень учебной литературы, информационных ресурсов и технологий**

### **5.1. Учебная литература**

#### **Основная литература:**

1. Григорьев А.Д. Электродинамика и микроволновая техника. Учебник - СПб.: Издательство Лань, 2007 - 704с. <https://e.lanbook.com/book/118>
2. Василишин И.И. Микроструктура электромагнитного поля, физические величины: Учебное пособие. - Архангельск: ИД САФУ, 2014
3. Панасюк Ю.Н., Пудовкин А.П. Электромагнитные поля: Учебное пособие. - Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012
4. Муромцев Д.Ю. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие. - Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012 <https://e.lanbook.com/book/50680>
5. Муромцев Д.Ю., Белоусов О.А. Техническая электродинамика: Учебное пособие. - Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012 <https://e.lanbook.com/book/50681>

#### **Дополнительная литература:**

1. Запорожец, В.В. Яковенко Н.А.. Волновые процессы и квантовая радиофизика. Лабораторный практикум. Допущено Министерством образования РФ в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению Физика и специальностей Физика. Физика и техника оптической связи. Краснодар. 2001. - 172с.
2. Фальковский О.И. Техническая электродинамика: учебник. - СПб.: Лань 2009 <https://e.lanbook.com/book/403>
3. Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы. Коллективная монография / Под ред. А. М. Кудрявцева. - М.: Радиотехника, 2007. - 208 с.
4. Иванов А.Е. Электродинамика: учебник. - М.: КНОРУС 2012
5. Батыгин В.В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности: учебное пособие. - СПб.: Лань 2010 <https://e.lanbook.com/book/544>
6. Пименов Ю. В. Линейная макроскопическая электродинамика. Вводный курс для радиофизиков и инженеров: учебное пособие. - Долгопрудный: Интеллект 2008
7. А.В. Володько. Электромагнитные поля и волны. Уч. пособие в 2-х частях/ Воронеж., Междунар. ин-т. компьют. технологий 2008.
8. Джурицкий К. Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. Москва: Техносфера, 2006. - 216 с.
9. Чернушенко А.М. Конструирование экранов и СВЧ устройств. М., Родино и связь. 1990. - 352с.
10. Ю.П. Гришин и др. Радиотехнические системы. М., Высш. шк. 1990. - 496с,
11. Г.И, Веселов и др. Микроэлектронные устройства СВЧ, М., Высш. тк. 1988.-280с,
12. Гильденбург В.Б., Миллер М.А. Сборник задач по электродинамике: учебное пособие. - М.: Физматлит 2001
13. В.В., Запорожец, В.А, Никитин, Н.А. Яковенко, Основы радиофизических методов исследований. Лаб. Работы. 4.1. Краснодар. 1998. - 80с.
14. В.В. Запорожец, В.А. Никитин, НА. Яковенко. Основы радиофизических методов исследований. Лаб. Работы. 4.2. Краснодар. 2000. - 55с.

### **5.2. Периодическая литература**

1. Базы данных компании «Ист Вью» <http://dlib.eastview.com>
2. Электронная библиотека GREBENNIKON.RU <https://grebennikon.ru/>
3. В мире науки.
4. Известия ВУЗов. Серия: Радиофизика.
5. Известия ВУЗов. Серия: Радиоэлектроника.

6. Известия ВУЗов. Серия: Физика.
7. Успехи физических наук.
8. Физика. Реферативный журнал ВИНТИ.
9. Электромагнитные волны и электронные системы.
10. Электроника.
11. Электроника. Реферативный журнал ВИНТИ.
12. Электроника: наука, технология, бизнес.

### **5.3. Интернет-ресурсы, в том числе современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

#### **Электронно-библиотечные системы (ЭБС):**

1. ЭБС «ЮРАЙТ» <https://urait.ru/>
2. ЭБС «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)
3. ЭБС «BOOK.ru» <https://www.book.ru>
4. ЭБС «ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com)
5. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>

#### **Профессиональные базы данных:**

1. Web of Science (WoS) <http://webofscience.com/>
2. Scopus <http://www.scopus.com/>
3. ScienceDirect [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
4. Журналы издательства Wiley <https://onlinelibrary.wiley.com/>
5. Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>
6. Полнотекстовые архивы ведущих западных научных журналов на Российской платформе научных журналов НЭИКОН <http://archive.neicon.ru>
7. Национальная электронная библиотека (доступ к Электронной библиотеке диссертаций Российской государственной библиотеки (РГБ) <https://rusneb.ru/>
8. Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина <https://www.prlib.ru/>
9. Электронная коллекция Оксфордского Российского Фонда <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kubanstate/home.action>
10. Springer Journals <https://link.springer.com/>
11. Nature Journals <https://www.nature.com/siteindex/index.html>
12. Springer Nature Protocols and Methods <https://experiments.springernature.com/sources/springer-protocols>
13. Springer Materials <http://materials.springer.com/>
14. zbMath <https://zbmath.org/>
15. Nano Database <https://nano.nature.com/>
16. Springer eBooks: <https://link.springer.com/>
17. "Лекториум ТВ" <http://www.lektorium.tv/>
18. Университетская информационная система РОССИЯ <http://uisrussia.msu.ru>

#### **Информационные справочные системы:**

1. Консультант Плюс - справочная правовая система (доступ по локальной сети с компьютеров библиотеки)

#### **Ресурсы свободного доступа:**

1. Американская патентная база данных <http://www.uspto.gov/patft/>
2. Полные тексты канадских диссертаций <http://www.nlc-bnc.ca/thesescanada/>
3. Кибер Ленинка (<http://cyberleninka.ru/>);
4. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации <https://www.minobrnauki.gov.ru/>;
5. Федеральный портал "Российское образование" <http://www.edu.ru/>;

6. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"<http://window.edu.ru/>;
7. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов<http://school-collection.edu.ru/>.
8. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (<http://fcior.edu.ru/>);
9. Проект Государственного института русского языка имени А.С. Пушкина "Образование на русском"<https://pushkininstitute.ru/>;
10. Справочно-информационный портал "Русский язык"<http://gramota.ru/>;
11. Служба тематических толковых словарей<http://www.glossary.ru/>;
12. Словари и энциклопедии<http://dic.academic.ru/>;
13. Образовательный портал "Учеба"<http://www.ucheba.com/>;
14. Законопроект "Об образовании в Российской Федерации". Вопросы и ответы[http://xn--273--84d1f.xn--p1ai/voprosy\\_i\\_otvety](http://xn--273--84d1f.xn--p1ai/voprosy_i_otvety)

### **Собственные электронные образовательные и информационные ресурсы КубГУ:**

1. Среда модульного динамического обучения <http://moodle.kubsu.ru>
2. База учебных планов, учебно-методических комплексов, публикаций и конференций <http://mschool.kubsu.ru/>
3. Библиотека информационных ресурсов кафедры информационных образовательных технологий <http://mschool.kubsu.ru;>
4. Электронный архив документов КубГУ <http://docspace.kubsu.ru/>
5. Электронные образовательные ресурсы кафедры информационных систем и технологий в образовании КубГУ и научно-методического журнала "ШКОЛЬНЫЕ ГОДЫ" <http://icdau.kubsu.ru/>

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

На самостоятельную работу студентов отводится 40% времени от общей трудоемкости дисциплины. Сопровождение самостоятельной работы студентов организовано в следующих формах:

Самостоятельная работа призвана закрепить теоретические знания и практические навыки, полученные студентами на лекциях, практических и лабораторных занятиях. Кроме того, часть времени, отпущенного на самостоятельную работу, должна быть использована на освоение теоретического материала по дисциплине и на подготовку к лабораторным занятиям.

В своей работе обучающийся может использовать: общие рекомендации по самостоятельной работе обучающихся; методические рекомендации по освоению лекционного материала, подготовке к лекциям; методические рекомендации по подготовке к семинарским (практическим/лабораторным) занятиям.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

### **7. Материально-техническое обеспечение по дисциплине (модулю)**

По всем видам учебной деятельности в рамках дисциплины используются аудитории, кабинеты и лаборатории, оснащенные необходимым специализированным и лабораторным оборудованием.

Наименование специальных помещений	Оснащенность специальных помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа Аудитория 209С	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер	Интерактивный проектор и магнитно-маркерная доска.
Учебные аудитории для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Аудитории 230С, 317С, 311С	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер Оборудование:	Магнитно-маркерная доска, компьютерная техника с подключением к сети Интернет.
Учебные аудитории для проведения лабораторных работ. Лаборатория 205Са	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер Оборудование:	Оборудование необходимое для проведения лабораторных работ
Учебные аудитории для курсового проектирования Аудитория 311С	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер Оборудование:	Компьютерная техника с подключением к сети Интернет

Для самостоятельной работы обучающихся предусмотрены помещения, укомплектованные специализированной мебелью, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

Наименование помещений для самостоятельной работы обучающихся	Оснащенность помещений для самостоятельной работы обучающихся	Перечень лицензионного программного обеспечения
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (читальный зал Научной библиотеки)	Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (ауд. 311С)	Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

	образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)	
--	--	--