

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
В.Ф. УТКИНА"**

СОГЛАСОВАНО  
Зав. выпускающей кафедры

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по УР

А.В. Корячко

## **Микроволновые приборы и устройства рабочая программа дисциплины (модуля)**

Закреплена за кафедрой      **Электронных приборов**  
Учебный план                    11.03.04\_21\_00.plx  
    11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
Квалификация                    **бакалавр**  
Форма обучения                 **очная**

Общая трудоемкость            **6 ЗЕТ**

### **Распределение часов дисциплины по семестрам**

Семестр (<Курс>. <Семестр на курсе>)	7 (4.1)		Итого	
	Неделя			
Неделя	16			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп
Лекции	48	48	48	48
Лабораторные	16	16	16	16
Практические	16	16	16	16
Иная контактная работа	0,65	0,65	0,65	0,65
Консультирование перед экзаменом и практикой	2	2	2	2
Итого ауд.	82,65	82,65	82,65	82,65
Контактная работа	82,65	82,65	82,65	82,65
Сам. работа	73,3	73,3	73,3	73,3
Часы на контроль	44,35	44,35	44,35	44,35
Письменная работа на курсе	15,7	15,7	15,7	15,7
Итого	216	216	216	216

Программу составил(и):

*к.т.н., доц., Горлин Олег Анатольевич*

Рабочая программа дисциплины

**Микроволновые приборы и устройства**

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и микроэлектроника (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 927)

составлена на основании учебного плана:

11.03.04 Электроника и микроэлектроника

утвержденного учёным советом вуза от 25.06.2021 протокол № 10.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

**Электронных приборов**

Протокол от 02.06.2021 г. № 6

Срок действия программы: 2021-2025 уч.г.

Зав. кафедрой Чиркин Михаил Викторович

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры **Электронных приборов**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2022 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2023-2024 учебном году на заседании кафедры **Электронных приборов**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2023 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2024-2025 учебном году на заседании кафедры **Электронных приборов**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2024 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры

**Электронных приборов**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2025 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

<b>1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b>	
1.1	Целью освоения дисциплины «Микроволновые приборы и устройства» является формирование у будущих специалистов твердых теоретических знаний о физических процессах, протекающих в различных СВЧ приборах и устройствах, о методах теоретического анализа процессов, о конструктивных особенностях приборов и устройств микроволнового диапазона.
1.2	Основные задачи освоения дисциплины:
1.3	-изучение физических основ микроволновых приборов, теорию физических процессов в приборах, типы, параметры, характеристики, конструкцию и технологические процессы при разработке и производстве приборов СВЧ, тенденции их развития;
1.4	-развитие у студентов навыков научного подхода к выбору и использованию различных методов при производстве и конструировании микроволновых приборов; ознакомление студентов со средствами измерения характеристик и параметров электронных компонентов.
1.5	-применение приобретенных практических знаний для решения конкретных задач при прохождении учебных практик, при выполнении курсовых и выпускных работ, а также в дальнейшей профессиональной деятельности.
1.6	

<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ</b>	
Цикл (раздел) ОП:	Б1.В
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>
2.1.1	Схемотехника
2.1.2	Тепловые процессы в электронике
2.1.3	Электромагнитные поля и волны. Ч.2
2.1.4	Информационные технологии
2.1.5	Твердотельная электроника
2.1.6	Технологические процессы нанoeлектроники
2.1.7	Цифровая обработка сигналов в электронных устройствах
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
2.2.2	Лазерные технологии в промышленности
2.2.3	Микропроцессоры в электронных устройствах
2.2.4	Преддипломная практика
2.2.5	Производственная практика
2.2.6	Световые технологии

<b>3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b>	
<b>ПК-1: Способен строить физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования и проводить анализ результатов</b>	
<b>ПК-1.1. Проводит моделирование и исследования функциональных, статических, динамических, временных, частотных характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения</b>	
<p><b>Знать</b> теорию физических процессов в микроволновых приборах, типы, параметры, характеристики, конструкцию и технологические процессы при разработке и производстве приборов СВЧ, тенденции их развития, принципы действия, характеристики и параметры основных твердотельных приборов СВЧ.</p> <p><b>Уметь</b> проводить компьютерное моделирование и расчеты физических процессов в приборах, проводить разработку и исследование приборов.</p> <p><b>Владеть</b> навыками работы с современной аппаратурой, используемой для исследования характеристик и измерения параметров микроволновых приборов.</p>	
<b>ПК-2: Способен анализировать, систематизировать и обобщать результаты исследований приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения</b>	

<b>ПК-2.2. Систематизирует и обобщает результаты исследований приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, представляет материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций</b>
<b>Знать</b> основные методы теории планирования эксперимента и обработки данных анализа и систематизации результатов в соответствии с поставленной задачей.
<b>Уметь</b> анализировать, систематизировать и обобщать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.
<b>Владеть</b> методиками представления материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

<b>ПК-4: Способен разрабатывать микроволновые, оптические и опто-электронные приборы и комплексы</b>
<b>ПК-4.1. Разрабатывает функциональные и структурные схемы микроволновых, оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов</b>
<b>Знать</b> инновационные и вариативные концепции, модели, технологии и приемы организации.
<b>Уметь</b> применять на практике основные приемы организации для разработки схем микроволновых, оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.
<b>Владеть</b> методами организации для разработки схем микроволновых, оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.
<b>ПК-4.2. Проводит расчет параметров микроволновых, оптических и оптико-электронных приборов на основе знаний о их физическом принципе действия</b>
<b>Знать</b> правила конструирования микроволновых приборов.
<b>Уметь</b> работать с номенклатурой и типами комплектующих изделий.
<b>Владеть</b> навыками расчета параметров микроволновых приборов на основе знаний о их физическом принципе действия.

**В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен**

<b>3.1</b>	<b>Знать:</b>
3.1.1	проведения экспериментальных исследований с применением современных средств и методов обработки и представления экспериментальных данных.
<b>3.2</b>	<b>Уметь:</b>
3.2.1	проведения экспериментальных исследований, современные программные средства обработки и представления данных в соответствии с поставленной задачей исследования характеристик микроволновых приборов СВЧ, анализировать результаты расчетов и обосновывать полученные выводы.
<b>3.3</b>	<b>Владеть:</b>
3.3.1	проведения экспериментальных исследований с применением современных средств и методов, обработки и представления экспериментальных данных, анализа результатов.

<b>4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b>						
<b>Код занятия</b>	<b>Наименование разделов и тем /вид занятия/</b>	<b>Семестр / Курс</b>	<b>Часов</b>	<b>Компетенции</b>	<b>Литература</b>	<b>Форма контроля</b>
	<b>Раздел 1.</b>					
1.1	Общие сведения о микроволнах (сверхвысоких частотах) диапазона СВЧ. Основные особенности диапазона и применения СВЧ /Тема/	7	0			

1.2	<p>Общие сведения о микроволнах (сверхвысоких частотах) диапазона СВЧ. Основные особенности диапазона и применения СВЧ. Отличительные особенности микроволновых приборов. Основной процесс в СВЧ – приборах: взаимодействие электронов с СВЧ – полями, поэтому происходит слияние в одно целое – пространство взаимодействия электронно-оптической и электродинамической систем. Электронный СВЧ прибор можно рассматривать как устройство, сочетающее электронные СВЧ процессы с процессами в электродинамических и электронно-оптических системах. При этом происходит и изменение функции электронных приборов: от функции регулирования тока до генерации, усиления колебаний, умножения частоты. Соответственно роль электроники СВЧ становится ведущей в технике СВЧ. Вследствие наличия электродинамических систем происходит ограничение поперечных размеров пространства взаимодействия, что затрудняет создание приборов на большие мощности и частоты.</p> <p>Другая особенность в том, что время пролета электронов становится сравнимым с периодом колебаний. Влияние времени пролета характеризуется узлом пролета. Конечное время пролета усложняет процессы, определяет и ограничивает размеры вдоль движения электронов.</p> <p>Электронные приборы СВЧ являются преобразователями энергии. В них энергия электронов преобразуется в энергию поля СВЧ и происходит генерация или усиление колебаний. По принципу действия приборы СВЧ являются обратными ускорителям, в которых энергия СВЧ поля переходит в энергию заряженных частиц. Кратко рассматриваются особенности взаимодействия электронов с полями резонансных и замедляющих систем, особенности взаимодействия в скрещенных электрическом и магнитном полях, при криволинейных периодических траекториях электронов.</p> <p>Необходимость создания переменного тока при взаимодействии электронов с полями.</p> <p>Электродинамические методы управления током. Скоростная модуляция. Группирование. Сортировка электронов. Поперечное управление током. /Лек/</p>	7	12	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
-----	---	---	----	--	--	---------

1.3	<p>Основные уравнения электроники СВЧ: движения электронов, уравнение Максвелла для полного тока и уравнение Пуассона. Противоречивость системы уравнений: использование гидродинамических и дискретных представлений электронного потока. Возможные ошибки при многоскоростном потоке в водном сечении. Две формы уравнения сохранения заряда. Время и угол пролета электронов. Их определение для простейших случаев. Осложнение процессов и понятий при больших амплитудах напряжения. Токи в приборах СВЧ. Определение наведенного тока от одного заряда. Энергетический подход к определению наведенного тока. Теорема Шокли-Рамо для компьютерных расчетов. Полный ток во внешней цепи. Эквивалентная схема. Понятие электронной проводимости. Формула для определения наведенного тока в аналитических расчетах.</p> <p>Определение тока, наведенного в контуре. Наведенный ток от переменной составляющей тока. Ток, наведенный в контуре постоянным на выходе в зазор электронным током. Электронная проводимость, вызванная постоянным на входе током. Эквивалентная схема и условия самовозбуждения для генераторов СВЧ состоящих из одного эквивалентного контура, двух контуров или электродинамической системы, в которой происходит взаимодействие с бегущей волной. Понятие об электронной перестройке и затягивании частоты. КПД генератора, контура, электронный. Различные формулы для их определения. Влияние нагрузки на работу генератора СВЧ. Круговые нагрузочные диаграммы. Коэффициент затягивания и выбор связи с нагрузкой. Изучение конспекта лекций. /Ср/</p>	7	16	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
1.4	<p>Особенности субмиллиметрового диапазона. Основные перспективы терагерцового диапазона. /Пр/</p>	7	8	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
1.5	Клистроны /Тема/	7	0			

1.6	<p>История создания клистронов. Устные высказывания проф. Д.А. Роженского о возможности «создания лампы в которой быстрые электроны догоняют медленные» (1932). Работа профессора МГУ Витта о возможности самовозбуждения колебаний в диоде при постоянном токе катода. Патенты и теоретическая работа Арсеньевой и Гейля о новом методе получения интенсивных колебаний кратчайших волн. (1934-35) Приборы Хана и Меткалфа, клистрон братьев Варриан и Хансена (1939г.) Конструкция двухрезонаторного клистрона. Главные особенности -электродинамическое управление током и наличие коллектора, размеры которого не ограничиваются длиной волны. Входное пространство взаимодействия: Определение скорости электронов на выходе из входного резонатора, коэффициенты электронного взаимодействия <math>M</math> и скоростной модуляции. Бессеточный зазор. Приборы СВЧ отличаются от приборов на более низких частотах ограничениями размеров пространства взаимодействия. Выбор поперечных размеров пространства взаимодействия бессеточного и сеточного зазоров. Выбор продольного размера зазора на основе компромисса между <math>(M2\rho)_{\max}</math> и <math>M_{\max}</math> в зависимости от требований к полосе частот и КПД (<math>\rho</math>-характеристическое сопротивление контура). Определение амплитуды напряжения на зазоре по подводимой мощности и суммарной проводимости резонатора.</p> <p>Кинематическая теория группирования в двухрезонаторном клистроне. Вывод формулы для электронного тока в пролетном пространстве клистрона. Анализ процесса группирования. Влияние пространственного заряда. Формула для параметра группирования с учетом пространственного заряда. Процессы в выходном пространстве взаимодействия. Расчетная формула для КПД клистронов с учетом коэффициента взаимодействия и медленных электронов. /Лек/</p>	7	10	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
-----	---	---	----	--	--	---------



1.7	<p>Выбор тока клистрона и эквивалентного сопротивления контура. Многорезонаторные клистроны. Устройство. Характеристики и параметры. Формула для полосы частот. Общие сведения по отражательному клистрону. Особенности группирования, основное уравнение группирования для отраженного клистрона и определение электронного тока. Электронная проводимость и условия самовозбуждения для отражательного клистрона. Графики установления колебаний в зависимости от амплитуды напряжения и угла пролета в пространстве отражателя. Пусковой и рабочий токи. Мощность и КПД отражательного клистрона. Объяснение закономерностей изменения КПД, амплитуды напряжения, пускового тока для различных зон. Электронная перестройка частоты. Электрические и магнитные силы взаимодействия в электронном потоке. Основное уравнение группирования с учетом пространственного заряда. Анализ влияния пространственного заряда на процесс группирования. Колебания и волны пространственного заряда. Приложения теории, учитывающей пространственный заряд. Влияние пространственного заряда в отражательном клистроне. Полоса многорезонаторного клистрона. Особенности использования бессеточных СВЧ зазоров</p> <p>Клистроны – умножители частоты. Однорезонаторные двухзоровые автогенераторные клистроны. Клистроны с резонаторами на виде колебаний «0». Клистроны с резонаторами на виде колебаний «π». Тенденции развития мощных клистронов. Увеличение КПД. Повышение напряжения. Повышение тока. Клистроны с большой площадью поперечного сечения электронного потока. Многолучевые клистроны. Клистроны с бегущей волной. Клистроны с двухзоровыми резонаторами и распределенным взаимодействием. Клистроны с электростатической фокусировкой. Подготовка к лабораторным работам. /Ср/</p>	7	16	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
1.8	Исследование многорезонаторного клистрона /Лаб/	7	4	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен, Лабораторная работа

1.9	Методы управления электронными потоками (создание переменного тока). /Пр/	7	4	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
1.10	Приборы магнетронного («М») типа (со скрещенными полями) /Тема/	7	0			
1.11	Краткая история развития. Движение электронов в магнитном Ии электрическом полях. Критическое магнитное поле (условие отсечки точки). Многорезонаторные магнетроны. Общие сведения. Резонансная система многорезонаторного магнетрона. Виды колебаний. Методы разделения колебаний по частоте и стабилизации рабочего вида. Электронные процессы в многорезонаторном магнетроне. Условия синхронизма вида колебаний с точки зрения дискретного взаимодействия и бегущей волны. Магнетроны как приборы с бегущей волной. Образование переменного тока в приборах магнетронного типа. Сортировка (сепарация) электронов. Преимущество магнетронов: передается потенциальная энергия электронов, синхронизм не нарушается, что обеспечивающее более высокий КПД. Разогрев катода обратными электронами. Вторичная эмиссия. Холодные катоды. Фазовая фокусировка (группирование) электронов. Распределение пространственного заряда в работающем магнетроне и общая картина электронных процессов /Лек/	7	8	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
1.12	Формула и диаграмма анодных напряжений. Электронный КПД многорезонаторного магнетрона. Рабочие характеристики многорезонаторного магнетрона. Электронное смещение и электронная настройка частоты. Магнетроны перестраиваемые по частоте напряжением (митроны). Магнетрон циклотронной частоты. Классификационные признаки приборов М типа. Биматрон (ЛБВ типа М). ЛОВ типа М. Дематрон. Волноводный усилительный магнетрон. Амплитрон. Отличительные черты амплитрона по сравнению с усилителями других типов. Отличия амплитрона от многорезонаторного магнетрона. Сравнение «0» и «М» типов приборов. Подготовка к лабораторной работе. /Ср/	7	12	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен

1.13	Исследование многорезонаторного магнетрона /Лаб/	7	4	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен, Лабораторная работа
1.14	Приборы с незамедленной (быстрой) волной /Тема/	7	0			
1.15	Достижение высоких мощностей на крайне высоких частотах (КВЧ) требует отказа от обычных резонаторов и замедляющих систем и перехода к гладким электродинамическим системам с большой площадью поперечного сечения пространства взаимодействия (открытые резонаторы, сверхразмерные волноводы) и периодическими поперечными движениями электронов. /Лек/	7	8	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
1.16	Условие взаимодействия с незамедленной волной. Мазеры на циклотронном резонансе и другие схемы реализации взаимодействия электронов с быстрой волной. Гиротроны. Подготовка к лабораторным работам. /Ср/	7	15	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
1.17	Исследование ЛБВ /Лаб/	7	4	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен, Лабораторная работа
1.18	Исследование ЛОВ /Лаб/	7	4	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен, Лабораторная работа

1.19	Расчет и проектирование ЛБВ /Пр/	7	4	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
1.20	Состояние микроволновой электроники на рубеже веков. Направления развития /Тема/	7	0			
1.21	Графики и диаграммы, характеризующие выходную мощность $P_{вых}$ , частоту $f$ , $P\Omega$ , коэффициент шума для различных приборов и изменения параметров за последние годы. Ведущая роль отечественных ученых в этой области. Направление развития микроволновой электроники. Новые методы генерации СВЧ и новые приборы особенно в области КВЧ. Преодоление ограничений связанных с главными особенностями приборов СВЧ. Пространственно развитые системы. Расширение площади поперечного сечения электронного потока, внедрение нетрадиционных электродинамических систем СВЧ в различных типах приборов. Миниатюризация и вакуумная СВЧ электроника. Модули СВЧ и комплексированные изделия. Вопросы создания новых технологий и конструкций. Компьютерное моделирование для анализа электронных СВЧ процессов, электродинамических и электронно-оптических систем, автоматизированного проектирования приборов. /Лек/	7	10	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
1.22	Собственное излучение электронов и виды излучений. Лазеры на свободных электронах, использующие криволинейное движение электронов в ондуляторах. Генераторы СВЧ, использующие излучение электронов при равномерном прямолинейном движении (излучение Черенкова и дифракционное). Рассмотрение классических приборов СВЧ как приборов, использующих собственное излучение электронов. ЛБВ как прибор с излучением Черенкова. Виркаторы (приборы с виртуальным катодом). Гирокконы. /Ср/	7	14,3	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
	<b>Раздел 2.</b>					
2.1	ИКР /Тема/	7	0			

2.2	ИКР /ИКР/	7	0,65	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
2.3	Кнс /Тема/	7	0			
2.4	Кнс /Кнс/	7	2	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен
2.5	КПКР /Тема/	7	0			
2.6	КПКР /КПКР/	7	15,7	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Защита курсового проекта
2.7	Экзамен /Тема/	7	0			
2.8	Экзамен /Экзамен/	7	44,35	ПК-4.2-3 ПК-4.2-У ПК-4.2-В ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В ПК-4.1-3 ПК-4.1-У ПК-4.1-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Экзамен

### 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Оценочные материалы приведены в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Оценочные материалы по дисциплине "Микроволновые приборы и устройства"").

### 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### 6.1. Рекомендуемая литература

##### 6.1.1. Основная литература

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л1.1	Куц Г. Г., Соколова Ж. М., Шангина Л. И.	Приборы и устройства оптического и СВЧ диапазонов : учебное пособие	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012, 414 с.	2227-8397, <a href="http://www.iprbookshop.ru/14020.html">http://www.iprbookshop.ru/14020.html</a>
Л1.2	Соколова Ж. М.	Микроволновые приборы и устройства : учебное пособие	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2009, 272 с.	2227-8397, <a href="http://www.iprbookshop.ru/13945.html">http://www.iprbookshop.ru/13945.html</a>
Л1.3	Трубецков Д.И., Храмов А.Е.	Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков: В 2 т.	М.: Физматлит, 2003, 496с.	5-9221-0372-5, 1

#### 6.1.2. Дополнительная литература

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л2.1	под ред. И.В.Лебедева	Электронные устройства СВЧ	М.: Радиотехника, 2008, 352с.	978-5-88070-183-4, 1
Л2.2	Костиенко А.И.	Введение в электронику СВЧ	М., 1989, 198с.	5-211-00468-X, 1

#### 6.1.3. Методические разработки

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л3.1	Глебова Т.А., Горлин О.А., Юркин В.И., Шишков А.А.	Микроволновые приборы и устройства. Ч.1: Клистроны : Методические указания	Рязань: РИЦ РГРТУ, 2019,	, <a href="https://elib.rsre.ru/ebs/download/1912">https://elib.rsre.ru/ebs/download/1912</a>

#### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	Электронно-библиотечная система «IPRBook». ЭБС издательства «IPRBook»
Э2	Электронно-библиотечная система «Лань». ЭБС издательства «Лань»

#### 6.3 Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

##### 6.3.1 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

Наименование	Описание
Операционная система Windows	Коммерческая лицензия
Kaspersky Endpoint Security	Коммерческая лицензия
Adobe Acrobat Reader	Свободное ПО
LibreOffice	Свободное ПО

### 6.3.2 Перечень информационных справочных систем

#### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1	358 учебно-административный корпус. Учебная аудитория для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специализированная мебель (200 мест), компьютер с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РГРТУ, мультимедиа проектор, экран, доска.
2	321 лабораторный корпус. Учебная лаборатория, оснащенная лабораторным оборудованием. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, лабораторных работ, текущего контроля и промежуточной аттестации. 24 места, учебно-лабораторные стенды для исследования вакуумных и полупроводниковых приборов и устройств СВЧ диапазона, осциллограф С1-67, осциллограф С1-68, осциллограф АСК-1021, ваттметр М3-21/а, ваттметр М4-2, ваттметр Я2М-66, ваттметр М3-1А, источник питания Б5-30, источник питания Б5-43, частотомер ЧЗ-46, частотомер ЧЗ-68, частотомер ЧЗ-51, частотомер ЧЗ-34, генератор сигналов Г4-83, генератор сигналов ГЗ-34, вольтметр В7-22А, индикатор коэффициента шума ЯВХ-263, ВУЧ, ЛПД, диод Ганна, специализированная мебель, магнитно-маркерная доска

#### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Методическое обеспечение дисциплины приведен в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Методические указания дисциплины "Микроволновые приборы и устройства")

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО  
ЗАВЕДУЮЩИМ  
КАФЕДРЫ

**ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ**, Серебряков Андрей  
Евгеньевич, Заместитель заведующего кафедрой

**20.09.23** 14:59 (MSK)

Простая подпись

ПОДПИСАНО  
ЗАВЕДУЮЩИМ  
ВЫПУСКАЮЩЕЙ  
КАФЕДРЫ

**ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ**, Чиркин Михаил  
Викторович, Ректор

**20.09.23** 17:14 (MSK)

Простая подпись

ПОДПИСАНО  
ПРОРЕКТОРОМ ПО УР

**ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ**, Корячко Алексей  
Вячеславович, Проректор по учебной работе

**21.09.23** 08:55 (MSK)

Простая подпись