

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижгородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»

Программа кандидатского экзамена

СК-РП-15.1-04-22

Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе




А.А. Куркин

«6» апреля 2022 г

Кафедра «Физика и техника оптической связи»

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 2.2.14

«АНТЕННЫ, СВЧ-УСТРОЙСТВА И ИХ ТЕХНОЛОГИИ»

Область науки:

2. Технические науки

Группа научных специальностей:

2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь


Наименование отрасли науки, по которой присуждаются ученые степени:

технические науки

Научная специальность

2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Нижний Новгород 2022

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
	федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	Программа кандидатского экзамена
СК-ПП-15.1-04-22	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

Программа предназначена для методического сопровождения процесса подготовки аспирантов (соискателей) к сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Программа составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре - приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 г. № 951.
2. Паспорт научной специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии», разработанный экспертами ВАК Минобрнауки России в рамках Номенклатуры научных специальностей, утвержденной приказом Минобрнауки России от 24.02.2021 г. № 118.
3. Учебный план НГТУ по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

РЕКОМЕНДОВАНА кафедрой «Физика и техника оптической связи» (ФТОС)
протокол № 3 от " 5 " апреля 2022г.

Заведующий кафедрой «ФТОС»

д.ф.-м.н, проф.

подпись



Раевский А.С.

расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

И.о. декана факультета подготовки специалистов высшей квалификации

личная подпись




Трубочкина Е.Л.

расшифровка подписи


«6» апреля 2022 г.

дата

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
	<i>«Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»</i>
	Программа кандидатского экзамена
СК-РП-15.1-04-22	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

СОДЕРЖАНИЕ

1	Общие положения	4
2	Программа кандидатского экзамена по специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»	4
3	Дополнительная программа	9
	Приложение. Пример оформления дополнительной программы	10

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
	<i>«Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»</i>
	Программа кандидатского экзамена
СК-РП-15.1-04-22	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

1 Общие положения

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине состоит из двух частей:

- 1) основная программа по специальности, разработанной в соответствии с паспортом научной специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»;
- 2) дополнительной программы, разрабатываемой аспирантом (соискателем).

Экзаменационные билеты должны включать 2-3 вопроса из основной программы и 1-2 вопроса из дополнительной программы.

2 Программа кандидатского экзамена по специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Программа составлена в соответствии с паспортом специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии», с опорой на дисциплины, связанные с изучением свойств электромагнитных полей и волн, особенностей их распространения в природных условиях, принципов построения и расчета волноведущих и резонансных структур, электронных и полупроводниковых приборов СВЧ, устройств СВЧ различного назначения и особенностей их конструкции, а также антенных устройств.


2.1 Общая теория антенн и СВЧ-устройств

Уравнения Максвелла для нестационарных и монохроматических полей. Материальные уравнения и типы сред. Векторные и скалярные потенциалы электромагнитного поля. Волновые уравнения и уравнения Гельмгольца. Граничные условия. Энергия электромагнитного поля. Теорема Умова–Пойнтинга.

Постановка задач электродинамики, методы их решения. Внутренние и внешние задачи электродинамики. Теорема единственности.

Свободные электромагнитные волны как решения однородных уравнений электродинамики в разных системах координат. Плоские однородные волны в изотропных средах с потерями и без потерь и в гиротропных средах (плазма и феррит при наличии подмагничивания). Вращение плоскости поляризации, резонансное поглощение. Немонхроматические волны в диспергирующих средах. Волны в активных средах; представление о волновых процессах в нелинейных средах. Падение плоской однородной волны на плоскую границу раздела однородных изотропных сред. Двойное преломление на границе раздела с гиротропной средой.

Локально-плоские волны и геометрическая оптика. Влияние неоднородности среды на распространение радиоволн. Уравнения эйконала и переноса. Уравнение

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
	федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	Программа кандидатского экзамена
СК-ПП-15.1-04-22	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

луча. Сопровождающий трехгранник Френеля на луче. Изменение поляризации вдоль луча. Возникновение каустик. Рефракция в неоднородных средах.

Распространение радиоволн в природных условиях. Влияние земной поверхности, тропосферы, ионосферы, космического пространства на распространение радиоволн. Распространение радиоволн в урбанизированных зонах.

Излучение электромагнитных волн. Элементарные излучатели. Ближняя и дальняя зоны. Теорема эквивалентности, эквивалентные поверхностные источники.

Электромагнитное поле заданного распределения возбуждающих токов в свободном пространстве. Принципы взаимозаменяемости полей, электрических и магнитных токов, принцип двойственности. Принцип электродинамического подобия. Сведение задачи об излучении антенн к интегральным и интегро-дифференциальным уравнениям.

Явления и задачи дифракции. Строгая постановка дифракционных задач. Дифракция на цилиндре, шаре и клине. Интегральные уравнения в задачах дифракции и возбуждения тел сложной формы. Асимптотические методы в квазиоптической области: приближение Гюйгенса-Кирхгофа и геометрическая теория дифракции.

Численные методы электродинамики. Постановка задачи, представление полей, алгоритмизация задач возбуждения, излучения и дифракции электромагнитных полей и волн.

Проекционные методы. Процесс Бубнова–Галёркина. Проекционное наложение граничных условий. Сведение задачи к рассмотрению граничных условий.

Дискретизационные методы. Декомпозиционный принцип. Математическое моделирование сложных структур.


2.2 Теория и техника СВЧ - устройств

Уравнения электродинамики для направляемых волн. Теория и классификация свободных волн в продольно-регулярных направляющих системах.

Типы направляющих систем. Полые и коаксиальные волноводы. Диэлектрические волноводы и линии поверхностных волн. Полые волноводы с частичным диэлектрическим и гиротропным заполнением. Полосковые и микрополосковые линии, щелевые и копланарные волноводы. Оптические волноводы, световоды. Замедляющие структуры. Искусственные диэлектрики. Квазиоптические направляющие системы.

Технические характеристики и особенности конструирования фидеров различных диапазонов. Конструктивно-технологические особенности микрополосковых линий.

Теория электромагнитных резонаторов. Полые резонаторы. Диэлектрические и ферритовые резонаторы. Резонаторы на основе планарных структур. Открытые квазиоптические резонаторы.

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	Программа кандидатского экзамена
	СК-РП-15.1-04-22
Факультет подготовки специалистов высшей квалификации	

Технические характеристики и особенности конструирования резонаторов различных типов.

Теория сложных волноводных устройств. Многомодовые матрицы рассеяния, проводимости и сопротивления. Основные свойства одномодовых матриц.

Эквивалентные схемы волноводных устройств. Элементы теории цепей СВЧ. Круговые диаграммы полных сопротивлений и проводимостей.

Применение общей теории сложных волноводных устройств и теории цепей СВЧ при использовании различных направляющих систем.

Фидерные устройства и их элементы. Методы согласования. Узкополосное и широкополосное согласование. Ограничения на полосу согласования. Согласующие элементы для линий разных типов.

Элементы возбуждения волноводов и резонаторов. Соединения линий передачи, переходные элементы, вращающиеся сочленения. Разветвления, мостовые соединения. Направленные ответвители.

Устройства регулирования амплитудных, фазовых и поляризационных характеристик. Атенюаторы, фазовращатели, поляризаторы.

Устройства с применением ферритов. Волноводные, коаксиальные, полосковые и микрополосковые фазовращатели, вентили, циркуляторы и ограничители.

Коммутационные устройства, применение ферритов и полупроводниковых элементов. Антенные переключатели.

Частотные фильтры, элементы теории и классификация. Реализация фильтров в виде волноводных, коаксиальных, полосковых и микрополосковых конструкций. Перестраиваемые фильтры.

Принципы построения и методы проектирования приёмо – передающих устройств СВЧ. Особенности активных СВЧ-устройств на основе полупроводниковых и миниатюрных вакуумных приборов(генераторы, умножители частоты, маломощные усилители). Применение биполярных и полевых транзисторов, лавинно-пролетных диодов, туннельных диодов и диодов Ганна.


Особенности мощных СВЧ-устройств (клистронные усилители, магнетронные генераторы и генераторы на ЛБВ и ЛОВ).

Пассивные нелинейные СВЧ устройства на полупроводниковых приборах. Транзисторные и диодные преобразователи частоты.

Теория и техника передачи сигналов по волоконно-оптическим линиям связи.

Применение СВЧ – устройств и систем в технологии производства, биологии и медицине.

Численный электродинамический расчёт основных типов СВЧ-устройств.

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
	<i>«Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»</i>
	Программа кандидатского экзамена
СК-ПП-15.1-04-22	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

2.3 Теория и техника антенных устройств и систем

Теория антенн. Приёмная и передающая антенны, их основные параметры и технические характеристики. Соотношение режимов приёма и передачи, теорема взаимности. Эффективная поверхность антенны. Обратное излучение приемной антенны. Приближение заданных токов и применение сведений об элементарных излучателях в теории антенн. Учет влияния земной поверхности и экранов.

Система однопольных излучателей. Теорема перемножения диаграмм. Эквивалентные решётки. Непрерывные распределения. Влияние амплитудно-фазового распределения поля и конфигурации апертуры на основные характеристики антенн. Статистические характеристики антенн.

Многоэлементные антенны (решётки). Взаимодействие элементов, метод наводимых э.д.с. в приближении заданных токов.

Фазированные антенные решетки (ФАР). Частотное, фазовое и фазочастотное сканирование. Дискретный и дискретно-коммутиционный методы. Приближение бесконечной решетки, теорема Флоке. Многолучевые антенные решетки.

Вопросы синтеза антенн. Сверхнаправленность. Типы антенн и их реализация в различных диапазонах волн.

Антенны длинных, средних и коротких волн. Вибраторные антенны для диапазонов КВ и УКВ. Антенны бегущей волны дискретного и непрерывного типов.

Спиральные, диэлектрические и ребристо-стержневые антенны. Частотно-независимые антенны. Рупорные, зеркальные, линзовые, щелевые и другие антенны СВЧ.

Антенные решётки с электронным сканированием. Системы управления ФАР, применение ферритов и полупроводниковых элементов. Активные решётки (АФАР). Приемно - передающие модули. Самофокусирующиеся антенные системы. Малошумящие антенные системы. Антенны с моделируемыми параметрами. Адаптивные антенны. Антенны для широкополосных сигналов. Антенные системы с регулируемой поляризационными характеристиками. Моноимпульсные антенные системы.


Диаграммообразование ФАР с помощью оптических методов. Волоконно-оптические и гибридные диаграммообразующие схемы (ДОС) ФАР. Радиооптические антенны.

Учёт особенностей распространения радиоволн и расположения антенны. Вопросы надёжности антенно-фидерных устройств.

Измерение параметров антенно-фидерных устройств.

Применение антенных устройств и систем в технологии производства, биологии и медицине.

Численный электродинамический расчёта основных типов антенных устройств и систем.

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	Программа кандидатского экзамена
	СК-РП-15.1-04-22
Факультет подготовки специалистов высшей квалификации	

2.4 Проектирование и оптимизация антенн и СВЧ-устройств, а также технология их производства

Современные компьютерные технологии проектирования, расчёта и оптимизации антенных и СВЧ – устройств широкого применения. Модели базовых элементов разных уровней. Составление модели сложного объекта.

Технология изготовления антенн и СВЧ-устройств.

Методы технологии конструирования антенных и СВЧ-устройств.

Методы технологии конструирования интегральных схем СВЧ.

2.5 Список литературы

1. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика. Под ред. Пименова Ю.В. М.: Радио и связь, 2000.

2. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Радио и связь, 2000.

3. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Высшая школа, 1992.

4. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: «Наука», 1989.

5. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ. М.: Высшая школа, 1990.

6. Черенкова Е.Л., Чернышов О.В. Распространение радиоволн. М.: Радио и связь, 1988.

7. Яковлев О.И. Космическая радиофизика. М.: РФФИ, 1998.

8. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решёток. Под ред. Воскресенского Д.И. М.: Радио и связь, 1994.

9. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для вузов. Под ред. Воскресенского Д.И. М.: МАИ, 1999..

10. Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1994.


11. Баскаков С.И., Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000.

12. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991.

13. Крылов К.И., Прокопенко В.Т., Тарлыков В.А.. Основы лазерной техники. Л.: Машиностроение, 1990.


14. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991.

15. Кугушев А.М., Голубева Н.С., Митрохин В.И. Основы электроники. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебное пособие для вузов. М. : Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
	федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	Программа кандидатского экзамена
СК-РП-15.1-04-22	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

3 Дополнительная программа

Дополнительная программа, самостоятельно составляемая аспирантом (соискателем), включает в себя титульный лист, не менее 15 вопросов по теме диссертации и не менее 15 источников литературы. Дополнительная программа должна быть подписана научным руководителем и согласована с деканом факультета подготовки специалистов высшей квалификации. Пример оформления дополнительной программы приведен в Приложении.

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	Программа кандидатского экзамена
	СК-РП-15.1-04-22
Факультет подготовки специалистов высшей квалификации	

ПРИЛОЖЕНИЕ

Пример оформления дополнительной программы

Минобрнауки России

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФСВК

_____ Р.Ш. Бедретдинов


«__» _____

Дополнительная программа

к кандидатскому экзамену


по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Нижний Новгород 2022

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
	<i>«Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»</i>
	Программа кандидатского экзамена
СК-РП-15.1-04-22	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации


Дополнительная программа экзамена по специальности

1. Классификация электродинамических операторов по принципу само- и несамосопряженности.
2. Определение типов электродинамических операторов, соответствующих крайним задачам, решаемым в диссертации.
3. Постановка краевой задачи для многослойного открытого диэлектрического волновода круглого поперечного сечения.
4. Причина возникновения встречных потоков мощности в неоднородных направляющих электродинамических структурах.
5. Процедура нахождения комплексных решений дисперсионных уравнений волн направляющих электродинамических структур методом вариации фазы.
6. Методы оценки корректности решений краевых электродинамических задач, поставленных в незамкнутой форме.
7. Виды возможных решений дисперсионного уравнения волн открытого диэлектрического волновода. Виды волн, соответствующие этим решениям.
8. Собственные комплексные волны. Их физические свойства.
9. Явление комплексного резонанса.
10. Измерение добротности комплексного резонанса.
11. Процедура модифицированного метода Галеркина для поперечно-неоднородных экранированных направляющих структур.
12. Влияние резистивного напыления на свойства волн круглого диэлектрического волновода.
13. Суть и обоснование метода поверхностного тока.
14. Метод энергетической ортогональности применительно к решению внутренних дифракционных задач.
15. Параболическое приближение в теории дифракции.

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»
	Программа кандидатского экзамена
	СК-РП-15.1-04-22
Факультет подготовки специалистов высшей квалификации	

Список литературы

1. Веселов, Г.И., Слоистые металло-диэлектрические волноводы / Г.И.Веселов, С.Б.Раевский – М.: Радио и связь, 1988. –248 с.
2. Неганов, В.А. Современные методы проектирования линий передачи и резонаторов сверх- и крайневых частот / В.А. Неганов, Е.И. Нефедов, Г.П. Яровой – М.: "Педагогика Пресс", 1998 - 328 с.
3. Иванов, А.Б. Волоконная оптика: приборы, компоненты, методика измерений / А.Б.Иванов – М.: «Сайрус Системс», 1999. – 627с.
4. Наймарк, М.А. Линейные дифференциальные операторы / М.А. Наймарк – М.: Наука, 1969. – 526 с.
5. Никольский, В.В. Вариационные методы для внутренних задач электродинамики / В.В. Никольский – М. Наука, 1967.- 460 с.
6. Раевский, А.С. Неоднородные направляющие структуры, описываемые несамосопряженными операторами / А.С. Раевский, С.Б. Раевский // – М. Радиотехника, 2004. – 110 с.
7. Митра, Р. Аналитические методы теории волноводов / Р. Миттра, С. Ли – М. Мир, 1974. – 323 с.
8. Никольский, В.В. Декомпозиционный подход к задачам электродинамики / В.В. Никольский, Т.И. Никольская – М. Наука, 1983.- 304 с.
9. Микроэлектронные устройства СВЧ. Под ред. Г.И. Веселова – М.: Высшая школа, 1988. –280с.
10. Васильев, Е.Н. Возбуждение тел вращения / Е.Н. Васильев – М. Радио и связь, 1987.- 272 с.
11. Вайнштейн, Л.А. Электромагнитные волны / Л.А. Вайнштейн.- М. Радио и связь, 1988. – 440 с.
12. Никольский, В.В. Вариационные методы для внутренних задач электродинамики / В.В. Никольский.– М. Наука, 1967.-460с.
13. Неганов, В.А. Электродинамика и распространение радиоволн / В.А. Неганов, О.В. Осипов, С.Б. Раевский, Г.П. Яровой. – М. Радиотехника, 2007. – 743с.
14. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. – М.: Наука, 1979. – 384 с.
15. Унгер, Х.Г. Планарные и волоконные оптические волноводы / Х.Г. Унгер.- М.- Мир, 1980. - 626с.
16. Интегральная оптика под редакцией Т. Тамира. – М. Мир, 1978. - 344с.
17. Неганов, В.А. Линейная макроскопическая электродинамика, Т.1 / В.А. Неганов, С.Б. Раевский, Г.П. Яровой. – М. Радио и связь, 2000. – 512с.

	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
	<i>«Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева»</i>
	Программа кандидатского экзамена
СК-РП-15.1-04-22	Факультет подготовки специалистов высшей квалификации

18.Неганов, В.А. Линейная макроскопическая электродинамика, Т.2 / В.А. Неганов, С.Б. Раевский, Г.П. Яровой. – М. Радио и связь, 2000. – 575с.

Научный руководитель

д.ф.-м.н., профессор

Раевский А.С.