

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»**

**“УТВЕРЖДАЮ”
Начальник ОПКВК**



В.П. Драгунов

01 октября 2022 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальности

1.3.4. – Радиофизика

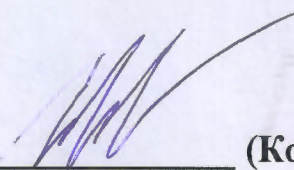
Новосибирск, 2022 г.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры лазерных систем
протокол № 6 от 12 октября 2022 г.

Утверждена на заседании ученого совета физико-технического факультета
протокол № 7 от 20 октября 2022 г.

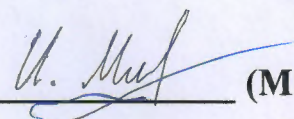
Декан ФТФ,

к.ф.-м.н., доцент


(Корель И.И.)

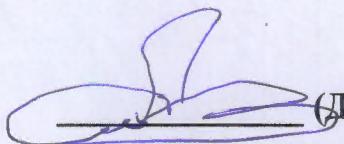
Заведующий кафедрой ЛС,

к.ф.-м.н., доцент


(Мирошниченко И.Б.)

Ответственный за основную
образовательную программу

д.ф.-м.н., профессор


(Дмитриев А.К.)

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: теория колебаний; теория волн; статистическая радиофизика; принципы усиления, генерации и управления сигналами; антенны и распространение радиоволн; выделение сигналов на фоне помех. Программа разработана экспертным советом по физике Высшей аттестационной комиссии при участии Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова и Московского физико-технического института (государственного университета).

1. Теория колебаний

1. Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабо нелинейные колебательные системы.
2. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем.
3. Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты.
4. Аналитические и качественные методы теории нелинейных колебаний. Анализ возможных движений и бифуркаций в фазовом пространстве: метод малого параметра, метод Ван-дер-Поля, метод Крылова-Боголюбова. Укороченные уравнения. Усреднение в системах, содержащих быстрые и медленные движения.
5. Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания.
6. Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.

7. Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты.
8. Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.
9. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.
10. Распределенные автоколебательные системы. Лазер как пример такой системы. Условия самовозбуждения. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.
11. Хаотические колебания в динамических системах. Понятие о хаотическом (странном) аттракторе. Возможные пути потери устойчивости регулярных колебаний и перехода к хаосу.

2. Теория волн

1. Плоские однородные и неоднородные волны. Плоские акустические волны в вязкой теплопроводящей среде, упругие продольные и поперечные волны в твердом теле, электромагнитные волны в среде с проводимостью. Поток энергии. Поляризация.
2. Распространение сигнала в диспергирующей среде. Простейшие физические модели диспергирующих сред. Волновой пакет в первом и втором приближении теории дисперсии. Фазовая и групповая скорости. Параболическое уравнение для огибающей. Расплывание и компрессия импульсов. Поле в средах с временной. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига и принцип причинности.
3. Свойства электромагнитных волн в анизотропных средах. Оптические кристаллы, уравнение Френеля, обыкновенная и необыкновенная волны. Магнитоактивные среды. Тензор диэлектрической проницаемости плазмы в магнитном поле; нормальные волны, их поляризация.

4. Волны в периодических структурах. Механические цепочки, акустические и оптические фононы. Полосы пропускания и непрозрачности. Электрические цепочки, сплошная среда со слабыми периодическими неоднородностями. Связанные волны.
5. Приближение геометрической оптики. Уравнения эйконала. Дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах.
6. Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы, световоды. Линзовые линии и открытые резонаторы. Гауссовские пучки.
7. Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина. Условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы.
8. Волны в нелинейных средах без дисперсии. Образование разрывов. Ударные волны. Уравнение Бюргерса для диссипативной среды и свойства его решений. Генерация гармоник исходного монохроматического сигнала, эффекты нелинейного поглощения, насыщения и детектирования.
9. Уравнение Кортевега-де Вриза и синус-Гордона. Стационарные волны. Понятие о солитонах11. Взаимодействия плоских волн в диспергирующих средах. Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление и генерация.
10. Самовоздействие волновых пучков. Самофокусировка света. Приближения нелинейной квазиоптики и нелинейной геометрической оптики. Обращение волнового фронта. Интенсивные акустические пучки; параметрические излучатели звука.
11. Уравнения Максвелла.

3. Статистическая радиофизика

1. Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный

случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени. Эргодичность. Измерение вероятностей и средних значений. Моментальные функции случайных процессов.

2. Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина. Белый шум и другие примеры спектров и корреляционных функций.

3. Модели случайных процессов: гауссовский процесс, узкополосный стационарный шум, импульсные случайные процессы, дробовой шум.

4. Отклик линейной системы на шумовые воздействия; функция Грина, интеграл Дюамеля. Действие шума на колебательный контур, фильтрация шума. Нелинейные преобразования (умножения частоты и амплитудное детектирование узкополосного шума).

5. Марковские и диффузионные процессы. Уравнение Фоккера-Планка.

6. Броуновское движение. Флуктуационно-диссипационная теорема. Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста. Тепловое излучение абсолютно черного тела.

7. Случайные поля. Пространственная и временная когерентность. Дифракция случайных волн. Теорема Ван Циттерта-Цернике. Дифракция регулярной волны на случайном фазовом экране. Тепловое электромагнитное поле. Теорема взаимности.

8. Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Борновское приближение, метод плавных возмущений. Рассеяние волн на шероховатой поверхности. Понятие об обратной задаче рассеяния.

9. Взаимодействие случайных волн. Генерация второй оптической гармоники, самофокусировка и самомодуляция частично когерентных волн. Преобразование спектров шумовых волн в нелинейных средах без дисперсии.

4. Принципы усиления, генерации и управления сигналами

1. Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковый лазер).
2. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо, конфокальный и концентрический резонаторы. Неустойчивый резонатор. Продольные и поперечные типы колебаний. Спектр частот и расходимость излучения. Добротность.
3. Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, режим модуляции добротности резонатора, режим синхронизации мод. Сверхкороткие импульсы. Шумы лазеров, формула Таунса и предельная стабильность частоты. Оптические компрессоры и получение фемтосекундных импульсов.
4. Молекулярный генератор. Квантовые стандарты частоты (времени).
5. Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота и критическая длина волновода. TE -, TH ,- и TEM -волны. Диэлектрические волноводы. Периодические структуры и замедляющие системы. Волновое сопротивление.
6. Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Полоса пропускания усилителя бегущей волны.
7. Генерация волн в СВЧ диапазоне. Принцип работы и устройство лампы бегущей и обратной волны, магнетрона и клистрона. Отрицательное дифференциальное сопротивление и генераторы СВЧ на полевых транзисторах, туннельных диодах, диодах Ганна и лавиннопролетных диодах. Эффект Джозефсона.
8. Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства).
9. Взаимодействия света со звуком. Дифракция Брэгга и Рамана-Ната. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, пре-

образователи свет-сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.

10. Линейный электрооптический и магнитооптический эффекты и их применение для управления светом.

5. Антенны и распространение радиоволн

1. Вибратор Герца. Ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Коэффициент усиления и коэффициент рассеяния антенны. Антенны для ДВ, СВ и СВЧ диапазонов. Параболическая антенна. Фазированные антенные решетки. Эффективная площадь и шумовая температура приемной антенны.

2. Геометрическое и дифракционное приближения при анализе распространения радиоволн. Влияние неровностей земной поверхности. Земные и тропосферные радиоволны. Рассеяние и поглощение радиоволн в тропосфере. Эффект "замирания". Тропосферный волновод. Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме. Ионосферная рефракция. Ход лучей в подводном звуковом канале и тропосферном радиоволноводе.

6. Выделение сигналов на фоне помех

1. Мера информации. Пропускная способность каналов.

2. Задачи оптимального приема сигнала. Апостериорная плотность вероятности. Функция правдоподобия. Статистическая проверка гипотез. Критерии Байеса, Неймана-Пирсона и Вальда проверки гипотез.

3. Априорные сведения о сигнале и шуме. Наблюдение и сообщение. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции.

4. Линейная фильтрация Колмогорова-Винера на основе минимизации дисперсии ошибки. Принцип ортогональности ошибки и наблюдения. Реализу-

емые линейные фильтры и уравнение Винера-Хопфа. Выделение сигнала из шума. Согласованный фильтр.

5. Линейный фильтр Калмана-Бьюси. Стохастические уравнения для модели сообщения и шума. Дифференциальные уравнения фильтра. Уравнение для апостериорной информации в форме уравнения Риккати. Сравнение фильтрации методом Колмогорова-Винера и Калмана-Бьюси.

6. Основные задачи нелинейной фильтрации и синтеза систем.

Основная литература

1. Н. В. Карлов, Н.А. Кириченко. Колебания, волны, структуры. – М.: Физматлит, 2001.
2. М. Б. Виноградова, О.В. Руденко, А.П. Сухоруков. Теория волн. – М.: Наука, 1990.
3. М. И. Рабинович, Д.И. Трубецков. Основы теории колебаний и волн. – М.: Наука. 1987.
4. Н. Н. Моисеев. Асимптотические методы нелинейной механики. – М.: Наука, 1981
5. С.А. Ахманов, Ю.Е. Дьяков, А.С. Чиркин. Введение в статистическую радиофизику и оптику, – М.: Наука, 1981.
6. Н. М. Цейтлин. Антенная техника и радиоастрономия. – М.: Радио и связь, 1976.
7. В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991.
8. А. Ярив, П.Юх. Оптические волны в кристаллах. – М.: Мир, 1987.
9. Г. Кайно. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. – М.: Мир, 1990.
10. В. В. Никольский, Т.И. Никольская. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Наука, 1989.

Дополнительная литература

1. А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин. Теория колебаний. – М.: Наука, 1981.
2. В. В. Мигулин, В. И. Медведев, Е. Р. Мустель, В. Н. Парыгин. Основы теории колебаний. – М.: Наука, 1988.
3. Г. М. Заславский, Р. З. Сагдеев. Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса. – М.: Наука, 1988.
4. Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1974.
5. С. М. Рытов. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы. – М.: Наука, 1976.
6. С. М. Рытов, Ю. А. Кравцов, В. И. Татарский. Введение в статистическую радиофизику. Часть 2. Случайные поля. – М.: Наука, 1978.
7. Дж. Гауер. Оптические системы связи. – М.: Радио и связь, 1989.
8. Л. Д. Бахрах, С. Д. Кременецкий. Синтез излучающих систем. – М.: Радио и связь, 1974.
9. В. И. Балакший, В. Н. Парыгин, Л. Е. Чирков. Физические основы акустооптики. – М.: Радио и связь, 1985.
10. Ф. Качмарек. Введение в физику лазеров. – М.: Мир, 1981.
11. Л. А. Вайнштейн, В. А. Солнцев. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. – М.: Сов. радио, 1973.
12. В. А. Зверев. Радиооптика. – М.: Сов. радио, 1975.
13. М. Букингем. Шумы в электронных приборах и системах. – М.: Мир, 1986.
14. Н. В. Карлов. Лекции по квантовой электронике. – М.: Наука, 1983.
15. Б. Р. Левин. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989.
17. Л. В. Ландау, Е. М. Лифшиц. Статистическая физика. – М.: Наука. 1999, том V, часть 1.
18. Е. Л. Фейнберг. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. – М.: Наука. 1999.