

**Акционерное общество «Северо-Западный региональный центр
Концерн ВКО «Алмаз – Антей» – Обуховский завод»**

Введено в действие приказом № 942
15.06.2021 г.

**ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В АСПИРАНТУРУ
ПО РАДИОФИЗИКЕ**

**Санкт-Петербург
2021**

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Общие положения.....	3
2 Содержание разделов и тем.....	3
2.1 Теория колебаний и волн.....	3
2.2 Принципы усиления, генерации и управления сигналами. Антенны и распространение радиоволн	4
2.3 Статистическая радиофизика и выделение сигналов на фоне помех	5
3 Методические рекомендации по подготовке к вступительному экзамену.....	6
4 Перечень экзаменационных вопросов.....	7
5 Основная рекомендуемая литература.....	8
6 Дополнительная рекомендуемая литература.....	9
7 Электронные (образовательные, информационные, справочные, нормативные и т.п.) ресурсы.....	9

1 Общие положения

Программа вступительного экзамена по дисциплине «Радиофизика» предназначена для подготовки к вступительному испытанию в аспирантуру акционерного общества «Северо-Западный региональный центр Концерна ВКО «Алмаз - Антей» - Обуховский завод» (далее – АО «Обуховский завод»),

Вступительный экзамен сдается в объеме вузовской программы.

Поступающие в аспирантуру должны продемонстрировать:

- компетенции по ключевым разделам научной специальности, полученных поступающим при изучении общепрофессиональных и специальных дисциплин бакалаврской и магистерской подготовки, таких как «Основы теории колебаний», «Основы радиоэлектроники», «Электродинамика», «Физика волновых процессов», «Статистическая радиофизика», «Электродинамика излучающих систем» и других;

- качественную систему представлений о закономерностях протекания основных колебательных, волновых и электродинамических процессов, а также о способах описания таких процессов с использованием методов статистической радиофизики.

2 Содержание разделов и тем

2.1 Теория колебаний и волн

Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабонелинейные колебательные системы.

Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем.

Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты.

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.

Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания.

Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.

Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты.

Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.

Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.

Распределенные автоколебательные системы. Лазер как пример такой системы. Условия самовозбуждения. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.

Хаотические колебания в динамических системах. Понятие о хаотическом (странном) аттракторе. Возможные пути потери устойчивости регулярных колебаний и перехода к хаосу.

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.

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.

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.

Волны в периодических структурах. Механические цепочки, акустические и оптические фононы. Полосы пропускания и непрозрачности. Электрические цепочки, сплошная среда со слабыми периодическими неоднородностями. Связанные волны.

Приближение геометрической оптики. Уравнения эйконала. Дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах.

Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы, световоды. Линзовые линии и открытые резонаторы. Гауссовские пучки.

Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина. Условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы.

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.

Уравнение Кортевега-де-Вриза и синус-Гордона. Стационарные волны. Понятие о солитонах. Взаимодействия плоских волн в диспергирующих средах. Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление и генерация.

Самовоздействие волновых пучков. Самофокусировка света. Приближения нелинейной квазиоптики и нелинейной геометрической оптики. Обращение волнового фронта. Интенсивные акустические пучки; параметрические излучатели звука.

2.2 Принципы усиления, генерации и управления сигналами.

Антенны и распространение радиоволн

Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковый лазер).

Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо, конфокальный и концентрический резонаторы. Неустойчивый резонатор. Продольные и поперечные типы колебаний. Спектр частот и расходимость излучения. Добротность.

Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, режим модуляции добротности резонатора, режим синхронизации мод. Сверхкороткие импульсы. Шумы лазе-

ров, формула Таунса и предельная стабильность частоты. Оптические компрессоры и получение фемтосекундных импульсов.

Молекулярный генератор. Квантовые стандарты частоты (времени).

Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота и критическая длина волновода. ТЕ-, ТН- и ТЕМ-волны. Диэлектрические волноводы. Периодические структуры и замедляющие системы. Волновое сопротивление.

Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Полоса пропускания усилителя бегущей волны.

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.

Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства).

Взаимодействия света со звуком. Дифракция Брэгга и Рамана-Ната. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, преобразователи свет-сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.

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

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.

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.

2.3 Статистическая радиофизика и выделение сигналов на фоне помех

Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени. Эргодичность. Измерение вероятностей и средних значений.

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

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

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).

Марковские и диффузионные процессы. Уравнение Фоккера-Планка.

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

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.

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

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

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

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

Линейная фильтрация Колмогорова-Винера на основе минимизации дисперсии ошибки. Принцип ортогональности ошибки и наблюдения. Реализуемые линейные фильтры и уравнение Винера-Хопфа. Выделение сигнала из шума. Согласованный фильтр.

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.

Основные задачи нелинейной фильтрации и синтеза систем.

3 Методические рекомендации по подготовке к вступительному экзамену

Подготовка к вступительному экзамену по радиофизике осуществляется поступающими в аспирантуру самостоятельно в соответствии с целью и содержанием программы вступительного экзамена в аспирантуру по радиофизике.

Для подготовки к вступительному экзамену по радиофизике рекомендуется изучить материалы основной и дополнительной литературы.

Экзаменационный билет вступительного экзамена в аспирантуру содержит три вопроса.

Дополнительные вопросы, непосредственно относящиеся к теме вопросов экзаменационного билета, могут касаться всего курса «Радиофизика».

Ответ на каждый вопрос оценивается отдельно, а затем выставляется общая (итоговая) оценка.

Экзамен организуется и проводится экзаменационной комиссией.

Экзаменуемый прибывает на экзамен, представляется Председателю экзаменационной комиссии, получает задание (экзаменационный билет) и приступает к подготовке ответов на вопросы.

Записи ответов на вопросы при подготовке выполняются на специально подготовленных листах.

Через 30 минут экзаменуемый, с разрешения Председателя экзаменационной комиссии, должен приступить к ответу на первый и последующие вопросы.

Члены комиссии по ходу ответов на вопросы могут задавать дополнительные вопросы по тематике излагаемых ответов.

Полученные оценки не объявляются до окончания экзамена. Общая оценка за экзамен выставляется в соответствии с критериями оценивания знаний.

Критерии оценивания знаний:

«отлично» – если поступающий дал правильные полные ответы на все вопросы билета и все дополнительные вопросы;

«хорошо» – если поступающий дал неполные ответы на один или два вопроса билета или возникли затруднения при ответе на дополнительные вопросы.

«удовлетворительно» – если поступающий дал неправильные ответы на один или два вопроса билета, а также неправильные или неполные ответы на дополнительные вопросы.

«неудовлетворительно» – если поступающий дал неправильные ответы на все вопросы билета и дополнительные вопросы.

4 Перечень экзаменационных вопросов

1. Линейные и нелинейные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабо нелинейные системы.

2. Автоколебательные системы с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах.

3. Методы теории нелинейных колебаний. Анализ движения на фазовой плоскости, метод малого параметра, укороченные уравнения.

4. Автоколебательные системы с двумя степенями свободы. Явления затягивания и гашения колебаний. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.

5. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем конечной длины. Роль граничных условий. Представление колебаний в форме ряда по собственным колебаниям и в форме волн.

6. Распространение плоских волн в материальных средах при учете временной и пространственной дисперсии. Расплывание волнового пакета в диспергирующей среде. Дисперсионное уравнение.

7. Представление волновых пакетов в виде суперпозиции плоских волн. Волновой параметр, пространственно-временные аналогии. Фурье-оптика.

8. Распространение волны в нелинейной среде без дисперсии. Образование ударной волны. Метод медленно меняющихся амплитуд для решения нелинейных волновых задач.

9. Электромагнитные волны в волноводах и периодических структурах. Пространственные гармоники в периодических структурах.

10. Основные понятия теории случайных процессов. Стационарные и нестационарные случайные процессы и способы их описания.

11. Корреляционно-спектральная теория случайных процессов. Теорема Винера – Хинчина.

12. Марковские процессы. Уравнение Марковского процесса и уравнение Фоккера – Планка – Колмогорова. Понятие "белого шума".

13. Статистические характеристики огибающей и фазы узкополосного случайного процесса. Шумы в автогенераторах. Распределение амплитуды, ширина и форма спектральной линии.

14. Пуассоновский процесс. Дробовой шум и формула Шоттки. Тепловой шум. Классический и квантовый вариант формулы Найквиста.

15. Обнаружение слабых сигналов на фоне шумов. Оценка параметров сигналов. Согласованный фильтр.

16. Спонтанные и индуцированные переходы.

17. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри – Перо, конфокальный и концентрический резонаторы, неустойчивый резонатор. Продольные и поперечные типы колебаний, спектр частот и расходимость (направленность) излучения. Добротность.

18. Форма и интенсивность спектральных линий. Однородное и неоднородное уширение. Естественная ширина, столкновение и доплеровское уширение. Поперечное и продольное времена релаксации.

19. Когерентное взаимодействие двухуровневой системы с излучением. Самоиндуцированная прозрачность. Принципы работы приборов квантовой электроники. Методы создания инверсии населенностей и отрицательного поглощения.

20. Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, переходные процессы, режим модуляции добротности, синхронизация мод. Сверхкороткие импульсы. Методы стабилизации частоты лазеров.

5 Основная рекомендуемая литература

1. Сайбель А.Г. Радиофизика: учебное пособие для поступающих в аспирантуру. – СПб: СЗРЦ Концерн ВКО «Алмаз – Антей», 2016. – 124 с.
2. Анищенко В.С., Стрелкова Г.И. Радиофизика и нелинейная динамика: Учебное пособие. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. – 167 с.
3. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Либроком, 2012.
4. Шиховцев И.В., Якубов В.П. Статистическая радиофизика. – Новосибирск, НГУ, 2011.
5. Нефедов Е.И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства. – М.: Академия, 2010.
6. Антипов О.И., Неганов В.А. Анализ и прогнозирование поведения временных рядов: бифуркации, катастрофы, синергетика, фракталы и нейронные сети. – М.: Радиотехника, 2011.
7. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. – М.: Наука, 1981.
8. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991.
9. Белокопытов Г.В., Ржевкин К.С. и др. Основы радиофизики//Под редакцией профессора А. С. Логгинова – М.: УРСС, 1996. – 256 с.

6 Дополнительная рекомендуемая литература

1. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса. – М.: Наука, 1988.
2. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 1: Случайные процессы. – М.: Наука, 1976.
3. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 2: Случайные поля. – М.: Наука, 1978.
4. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д. Синтез излучающих систем. – М.: Радио и связь, 1974.
5. Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. – М.: Радио и связь, 1985.
6. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. – М.: Мир, 1981.
7. Букингом М. Шумы в электронных приборах и системах. – М.: Мир, 1986.
8. Карлов Н. В. Лекции по квантовой электронике. – М.: Наука, 1983.
9. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989.
10. Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. – М.: Наука, 1999.
11. Научный журнал «Радиотехника и электроника».
12. Научный журнал «Известия ВУЗов. Радиофизика».
13. Реферативный журнал «Физика».

7 Электронные (образовательные, информационные, справочные, нормативные и т.п.) ресурсы

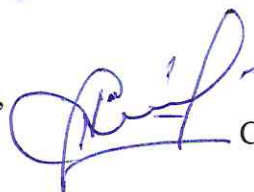
1. 1 <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>
2. <http://yadi.sk/d/YSwuGa1lH8Ecb>
3. <http://bwa.lgp.kz>

Программу разработал
д-р техн. наук, доц.



А.Г. Сайбель

Начальник научно-образовательного центра,
д-р воен. наук, проф.



С.В. Баушев

Начальник отдела аспирантуры,
канд. воен. наук, доц.



В.А. Волгин