



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе

В.А. Тупик

2022 г.



**ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ –
ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ
КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ**

Группа научных специальностей 2.2. «Электроника, фотоника, приборостроение и
связь»

2.2.16. «Радиолокация и радионавигация»

Форма обучения: очная

Срок обучения: 4 года

Факультет: ФРТ

Выпускающая кафедра: РС

Санкт-Петербург

2022

СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет:	ФРТ
Обеспечивающая кафедра:	РС

Курс	4
Семестр	8

Виды занятий

Лекции
Самостоятельная работа

Вид промежуточной аттестации

Экзамен (семестр)	8
-------------------	---

Разработчик



Кутузов В. М.

Зав. каф. РС



Кутузов В. М.

Заведующий ОДА



Тумаркин А. В.

АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
«РАДИОЛОКАЦИЯ И РАДИОНАВИГАЦИЯ»

Курс предназначен для подготовки к сдаче кандидатского экзамена по специальности. В курсе излагаются методы статистической теории обработки сигналов в радиосистемах и радиоустройствах, а также методы синтеза оптимальных алгоритмов и структур обработки сигналов, как теоретическая база для изучения всех радиотехнических систем и устройств. Также рассматриваются радиотехнические системы различного назначения.

SUBJECTSUMMARY
«RADARANDRADIONAVIGATION»

The course is designed for preparation for the candidate exam in the specialty. The course outlines methods of statistical theory of signal processing in radio systems and radio-electronic devices and methods of synthesis of optimal algorithms and structures of signal processing, as a theoretical base for the study of all radio engineering systems and devices. Also discusses radio systems for various purposes.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Изучение методов статистической теории обработки сигналов в радиосистемах и радиоустройствах.
2. Формирование умения синтезировать оптимальные алгоритмы и структуры обработки сигналов в заданных условиях.
3. Освоение принципов и формирование навыков анализа радиолокационных и радионавигационных систем различного назначения.

Перечень компетенций, в формировании которых участвует дисциплина, приведен в матрице компетенций, прилагаемой к ООП.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Введение. Содержание, цель и значение дисциплины в подготовке аспирантов, ее связь с другими дисциплинами и подготовкой кандидатской диссертации. Общая классификация решаемых задач.

Тема 1. Статистическая теория обработки сигналов в радиотехнических системах

Сообщения, сигналы и помехи. Передача, извлечение и разрушение информации. Радиосигналы. Радиосигналы с амплитудной и угловой (частотной и фазовой) модуляцией и их спектры. Радиосигналы со сложной (смешанной) модуляцией и их спектры.

Тема 2. Шумы и помехи как случайные процессы

Плотности распределения вероятностей, характеристические функции и функции распределения случайных процессов. Энергетические характеристики случайных процессов. Моментные и корреляционные функции. Спектральная плотность. Свойства корреляционных функций. Теорема Винера-Хинчина.

Тема 3. Стационарность и эргодичность случайных процессов

Автокорреляционные и взаимные корреляционные функции. Непрерывность и дифференцируемость случайных процессов. Интегрирование случайных процессов. Гауссовский случайный процесс и его характеристики. Процессы близкие к гауссовскому. Импульсные и точечные случайные процессы.

Тема 4. Марковские процессы

Узкополосные случайные процессы. Статистические характеристики огибающей, фазы и их производных для суммы сигнала и узкополосного шума. Выбросы случайных процессов.

Тема 5. Критерии и решающие правила оптимального обнаружения

Критерий Байеса, минимаксный критерий, критерий Неймана-Пирсона, критерий Вальда и др. Показатели качества обнаружения сигналов. Методы синтеза оптимальных обнаружителей. Обнаружение детерминированных и квазидетерминированных сигналов на фоне «белого» шума. Обнаружение пачек когерентных и некогерентных радиоимпульсов в «белом» шуме.

Тема 6. Корреляционная, фильтровая и корреляционно-фильтровая обработка сигналов

Обнаружение детерминированных и квазидетерминированных сигналов, в том числе и многоканальное, на фоне гауссовых коррелированных помех. Обеляющие фильтры. Обнаружение сигналов в негауссовых помехах.

Тема 7. Оценка максимального правдоподобия и ее свойства

Неравенство Крамера-Рао. Потенциальная точность измерения параметра. Многоканальный и следящий измерители. Оценивание энергетических и неэнергетических параметров сигнала на фоне «белого» шума. Функция рассогласования сигнала и ее связь с потенциальной точностью измерений.

Тема 8. Оценивание времени запаздывания, частоты и фазы различных моделей сигнала

Виды оценивания: фильтрация, интерполяция и экстраполяция.

Байесовы правила оценивания. Марковская аппроксимация сигналов

Тема 9. Радионавигационные системы наземного базирования

Радиосистемы ближней навигации: дальномерные, угломерно-дальномерные.

Системы инструментальной посадки самолетов.

Радиосистемы дальней навигации: импульсные, импульсно-фазовые, фазовые разностно-дальномерные системы.

Особенности построения фазовых радионавигационных систем. Используемые диапазоны радиоволн. Зоны обслуживания системами.

Особенности построения импульсно-фазовых радионавигационных систем. Особенности распространения радиоволн.

Тема 10. Системы и устройства радиолокации

Физические основы радиолокации. Эффективная площадь рассеяния (ЭПР) целей. Поляризационная матрица рассеяния.

Дальность действия РЛС. Влияние атмосферы и подстилающей поверхности на дальность действия РЛС.

Устройства обнаружения (обнаружители) радиолокационных сигналов. Структуры обнаружителей.

Разрешающая способность по дальности, угловым координатам и скорости.

Простые и сложные сигналы. Двумерная корреляционная функция (ДКФ) зондирующего сигнала. Функция неопределенности (ФН) и диаграмма неопределенности (ДН) радиолокационных сигналов.

Фазовые, частотные и импульсные дальномеры. Радиодальномеры со сложными сигналами. Пределы однозначного измерения, разрешающая способность и точность радиодальномеров.

Измерители радиальной скорости целей. Пределы однозначного измерения, разрешающая способность и точность измерителей скорости.

Амплитудные и фазовые одноканальные пеленгаторы. Амплитудные, фазовые и суммарно-разностные моноимпульсные пеленгаторы. Пределы однозначного измерения, разрешающая способность и точность пеленгаторов.

Тема 11. Особенности построения систем на основе ИСЗ

Виды используемых орбит: экваториальные, полярные, наклонные, круговые, эллиптические. Геостационарные орбиты. Средневысотные орбиты. Низкие орбиты.

Требования к наземному обеспечению систем с ИСЗ. Требования к аппаратуре ИСЗ.

Диапазоны радиоволн, отведенные для систем с ИСЗ. Сравнительная оценка диапазонов.

Тема 12. Системы навигации посредством ИСЗ на средневысотных орbitах

Система (GPS). Структура системы. Космическая группировка. Наземное обеспечение. Диапазон используемых частот. Структура сигнала. Алгоритм определения местоположения.

Система Глонасс. Структура системы. Космическая группировка. Наземное обеспечение. Диапазон используемых частот. Структура сигнала. Алгоритм определения местоположения.

Особенности построения систем Галилео и Бэйдоу.

Тема 13. Системы навигации на основе низкоорбитальных ИСЗ

Система Транзит. Структура системы. Космическая группировка. Наземное обеспечение. Диапазон используемых частот. Структура сигнала. Алгоритм определения местоположения.

Особенности построения систем Циклон и Цикада.

Заключение. Перспективы развития радиотехнических систем

В случае, если дисциплина реализуется в группах с малой численностью, занятия по отдельным разделам могут проходить в виде установочной лекций, выдачи и объяснения задания по теме, а текущий контроль может проходить в виде представления и защиты аспирантом выполненного задания.

Общие рекомендации по выполнению индивидуальных заданий доступны для аспиранта в печатном или электронном виде (на сайте Университета), либо аспирант может получить рекомендации у преподавателя, отвечающего за дисциплину, в часы консультаций. Задание формулируется с учетом тематики диссертационного исследования аспиранта в рамках изучаемой дисциплины.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Методические рекомендации по реализации дисциплины

Методические рекомендации преподавателям:

Перед началом преподавания дисциплины преподавателю необходимо:

- знать цели и задачи преподавания дисциплины;
- представлять, какие знания, умения и навыки должен приобрести аспирант в процессе изучения данной дисциплины;
- четко понимать, в формировании каких результатов освоения программы аспирантуры участвует дисциплина.

Если учебным планом по дисциплине предусмотрен экзамен, его рекомендуется проводить в форме индивидуальной беседы с аспирантом по вопросам, сформулированным в фондах оценочных средств дисциплины, используя вопросы из различных разделов дисциплины, обеспечив тем самым более полную проверку знаний аспиранта.

В своей деятельности преподаватель должен руководствоваться локальными нормативными актами, регламентирующими образовательную деятельность по образовательным программам подготовки кадров высшей квалификации в университете.

Методические рекомендации по самостоятельной работе аспирантов:

Изучение каждой дисциплины должно сопровождаться самостоятельной работой аспиранта с рекомендованными преподавателями литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет по всем разделам дисциплины.

Ряд вопросов, подлежащих изучению в составе дисциплины, достаточно хорошо проработаны в учебной литературе, представлены в научных трудах, сборниках трудов, статьях, в сети Интернет. Эти вопросы могут быть переданы аспирантам на самостоятельное изучение. Такая работа строится на основе подготовленных преподавателем заданий с перечнем вопросов, на которые обучающийся должен найти ответы в процессе самостоятельного

изучения. Самостоятельно могут изучаться как целые темы, так и отдельные вопросы в составе обозначенных преподавателем, но не полностью раскрытых им тем. Для закрепления материала ведется конспектирование, готовятся рефераты, эссе или делаются доклады. Степень освоения самостоятельно изученных материалов обязательно проверяется контрольными мероприятиями с использованием фонда оценочных средств по дисциплине.

Особое место требуется уделить консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и аспирантами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

**Перечень основной и дополнительной учебной литературы,
необходимой для освоения дисциплины**

№	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ. (на каф.)
1	Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1994	329
2	Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991	188
3	Радиотехнические системы: учебник для студ. высш. учеб. заведений. Под ред. Ю.М. Казаринова - Изд. центр «Академия», 2008. – 592 с.	67
4	Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000. – 257 с.	21
5	Соколов А.И., Юрченко Ю.С. Радиоавтоматика: учебник. - М.: Изд.центр «Академия», 2011.	65 (0)

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети
«Интернет», используемых при освоении дисциплины**

№	Электронный адрес
1	http://alnam.ru/book_rts.php?id=35

Информационные технологии (операционные системы, программное обеспечение общего и специализированного назначения, а также информационные справочные системы) и материально-техническая база, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, соответствуют федеральным государственным требованиям.

Конкретные формы и процедуры текущего контроля знаний и промежуточной аттестации, включая перечень экзаменационных вопросов (Приложение 1), а также методические указания для обучающихся по самостоятельной работе при освоении дисциплин доводятся до сведения обучающихся на первом занятии.

Список экзаменационных вопросов по дисциплине
«РАДИОЛОКАЦИЯ И РАДИОНАВИГАЦИЯ»

1. Статистическая радиотехника

1.1. Математическое описание и методы анализа сигналов и помех

1. Пространство сигналов. Метрические и линейные пространства сигналов.
2. Дискретные представления сигналов. Полные ортонормальные системы.
3. Интегральные представления сигналов. Преобразования Фурье, Гильберта и другие интегральные преобразования.
4. Разложение сигнала по заданной системе функций. Гармонический анализ сигналов. Спектры периодических и непериодических сигналов. Теорема отсчетов Котельникова в частотной области.
5. Дискретные сигналы и их анализ. Дискретное преобразование Фурье и Гильберта и их свойства. Решетчатые функции. Z-преобразование.
6. Сообщения, сигналы и помехи. Передача, извлечение и разрушение информации. Радиосигналы. Радиосигналы с амплитудной и угловой (частотной и фазовой) модуляцией и их спектры. Радиосигналы со сложной (смешанной) модуляцией и их спектры. Огибающая, фаза и частота узкополосного сигнала. Аналитические сигналы.
7. Шумы и помехи как случайные процессы. Плотности распределения вероятностей, характеристические функции и функции распределения случайных процессов. Энергетические характеристики случайных процессов. Моментные и корреляционные функции.
8. Спектральная плотность. Свойства корреляционных функций. Теорема Винера-Хинчина. Стационарность и эргодичность случайных процессов. Автокорреляционные и взаимные корреляционные функции. Непрерывность и дифференцируемость случайных процессов. Интегрирование случайных процессов. Гауссовский случайный процесс и его характеристики. Процессы близкие к гауссовскому. Импульсные и точечные случайные процессы. Марковские процессы. Узкополосные случайные процессы. Статистические характеристики огибающей, фазы и их производных для суммы сигнала и узкополосного шума. Выбросы случайных процессов.
9. Воздействие случайных процессов на нелинейные и параметрические цепи и устройства. Статистические характеристики процессов на выходе нелинейных устройств и методы их нахождения.
10. Дискретные линейные системы. Методы анализа и синтеза дискретных радиотехнических устройств. Цифровые фильтры. Рекурсивные и нерекурсивные цифровые фильтры. Физическая осуществимость и устойчивость цифровых фильтров. Импульсные характеристики цифровых фильтров. Спектральный анализ с помощью дискретного и быстрого преобразования Фурье.
11. Следящие радиотехнические системы. Статистическая динамика радиотехнических следящих систем. Структурные схемы следящих систем: автоматической регулировки (усиления, автоматической подстройки частоты, фазовой автоподстройки и др.). Статистические характеристики дискриминаторов. Методы анализа динамических систем с переменными и случайными параметрами. Статистическая динамика непрерывных, дискретных и импульсных следящих радиосистем.

1.3. Цифровые методы обработки сигналов

12. Дискретизация сигналов по времени и квантование по уровню. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и выбор параметров кода. Методы синтеза алгоритмов и устройств цифровой обработки сигналов. Цифровая фильтрация и цифровые фильтры. Ошибки квантования и округления. Методы расчета цифровых фильтров. Коэффициент передачи и импульсная характеристика цифровых фильтров. Цифровая фильтрация во временной и частотной областях. Цифровой спектральный анализ. Быстрое преобразование Фурье. Цифровая обработка многомерных сигналов и изображений.

2. Системы радиосвязи и телевидения

2.1. Радиосистемы и устройства передачи информации

13. Области применения и задачи передачи информации. Мера количества информации (Хартли, К. Шеннон). Энтропия источника информации и ее свойства. Избыточность. Производительность. Дифференциальная энтропия.

14. Пропускная способность канала связи. Формула Шеннона. Основная теорема кодирования. Понятие о кодировании информации: код, алфавит, основание и значность кода. Методы Фэн-Шеннона и Хаффмена построения эффективного кода. Принцип построения кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки. Способы приема двоичных сигналов в каналах с постоянными параметрами. Некогерентный прием двоичных АМ и ЧМ сигналов. Прием ФМ сигналов, «обратная работа» и применение ОФМ. Прием сигналов в каналах со случайными параметрами. Характеристики каналов. Одиночный прием двоичных флюктуирующих сигналов. Разнесенный прием сигналов. Теории потенциальной помехоустойчивости В.А. Котельникова. Критерий помехоустойчивости приема непрерывных сообщений. Выигрыш и обобщенный выигрыш в отношении сообщение (сигнал) шум. Алгоритм оптимальной демодуляции непрерывных сообщений при слабых помехах. Виды модуляции при передаче непрерывных сообщений. Мощность шума на выходе демодулятора и его энергетический спектр. Применение АМ, БМ, ОФМ, ФМ и ЧМ, их сравнение по выигрышу и физическое объяснение. Плата за повышенную помехоустойчивость при ФМ и ЧМ. Пороговые явления при передаче непрерывных сообщений. Цифровые методы передачи непрерывных сообщений. Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ). Дифференциальная ИКМ и дельта-модуляция. Основы теории разделения сигналов и многоканальных РСПИ. Необходимое и достаточное условия линейного разделения сигналов. Частотное, временное и фазовое разделение сигналов. Разделение сигналов по форме. Асинхронные адресные системы передачи информации. Применение сложных шумоподобных сигналов в РСПИ.

15. Радиолинии. Диапазон радиоволн в системах передачи информации. Виды радиосистем передачи информации (РСПИ): связные, телевизионные, телеметрические и командные. Канал связи и его характеристики. Пропускная способность канала. Характеристики и параметры передаваемой информации. Структура радиосигналов. Методы модуляции и кодирования. Модемы и кодеки. Защита информации. Критерии качества РСПИ. Многоканальные РСПИ. Многостанционные радиосистемы передачи информации. Синхронизация в РСПИ: фазовая, тактовая, цикловая и кадровая синхронизация.

2.3. Системы и устройства радиоуправления

16. Области применения и задачи управления объектами.
17. Элементы теории автоматического управления. Объекты управления. Контур следящего управления и его основные звенья.
18. Командное следящее радиоуправление, автономное радиоуправление, радиоуправление при наведении по лучу, управление космическими аппаратами. Особенности радиолиний управления объектами. Командно-измерительные

комплексы. Радиоуправление приборами и агрегатами. Синтез и анализ систем радиоуправления. Использование имитационных моделей.

2.4. Системы радиоэлектронной борьбы

19. Задачи радиоэлектронной борьбы (РЭБ) с системами телевидения и радиосвязи.
20. Радиотехническая разведка (РТР). Определение параметров радиосигналов систем телевидения и радиосвязи различного назначения средствами РТР. Методы определения местоположения систем радиосвязи и телевидения. Эффективность средств РТР.
21. Методы и средства радиоэлектронного противодействия. Генераторы активных помех. Виды активных помех.