

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Направленность (специальность) 05.12.14 Радиолокация и радионавигация

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Системы дистанционного радиозондирования с борта летательных и космических аппаратов»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.1.1

Всего: 108 часов

Семестр 1, в том числе

6 часов – контактная работа,  
84 часа – самостоятельная работа,  
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 876, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников 05.12.14 Радиолокация и радионавигация, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины является в углубленном освоении методологии и средств локации, применяемых для исследований Земли и космического пространства при решении задач океанографии, метеорологии, геологии и геодезии, ледовой разведки, для изучения растительного покрова, экологического мониторинга и радиоастрономии.

**Задачами** дисциплины являются:

- освоение основ анализа работы и расчета технических характеристик радиолокационных систем дистанционного мониторинга природных объектов;
- приобретение навыков оценки помехоустойчивости радиолокационных систем дистанционного зондирования Земли.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- способность разрабатывать эффективные алгоритмы решения научных задач (ПК-1);

– способность реализовать разработанные алгоритмы решения научных задач с использованием современных языков программирования (ПК-2).

## **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

### **знать:**

- основы теории обнаружения, различения сигналов и оценивания параметров сигналов, отраженных от объемно- и поверхностно-распределенных целей (УК-1);
- принципы радиолокации и методы реализации радиолокационных устройств, систем и комплексов дистанционного зондирования (УК-2);
- принципы построения оптимальных устройств обработки сигналов в радиосистемах дистанционного зондирования (ОПК-1);

### **уметь:**

- использовать стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач (ОПК-2);
- применять статистические теории обнаружения-различения сигналов, оценивания их параметров и фильтрации информационных процессов (ОПК-3);
- применять алгоритмы цифровой обработки сигналов (ПК-1);

### **владеть:**

- методологией использования аппаратуры для измерения характеристик радиотехнических цепей и сигналов (ПК-1);
- спектральными методами анализа детерминированных и случайных сигналов и их преобразований в электрических цепях (ПК-2);
- теоретическими основами статистического представления радиолокационных сигналов от распределенных целей со случайными параметрами (ПК-1);
- статистическими методами анализа и синтеза радиотехнических систем и устройств (ПК-2);
- методиками расчета основных характеристик радиолокационных систем и комплексов дистанционного зондирования (ПК-1);
- основными понятиями, терминами и определениями в области радиолокационных систем дистанционного зондирования (ПК-2);
- методами излучения и приема радиолокационных сигналов при наличии помех (ПК-1);
- методами реализации цифровой обработки радиолокационных сигналов (ПК-2).

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

### *1. Характеристики объектов радиолокационного наблюдения в задачах дистанционного зондирования. Расчет ЭПР*

Общая характеристика радиолокационных целей и их классификация. Эффективная площадь рассеяния целей. Сложные и групповые цели. Объемно-распределенные цели. Поверхностно-распределенные цели и модели статистически неровных поверхностей. Результаты экспериментального определения характеристик отражения различных поверхностей.

### *2. Математические модели отраженных радиолокационных и излученных радиотепловых сигналов и взаимосвязь их статистических характеристик с параметрами природных объектов и сред*

Характер флуктуаций эхо-сигналов от поверхностно-распределенных целей. Энергетика радиоканала при локации точечных целей. Энергетика радиоканала при локации протяженных целей. Радиотепловое излучение атмосферы и земных покровов. Понятие яркостной температуры. Энергетика радиоканала при радиометрическом приеме излучения целей.

### *3. Устройства пассивного визирования в СВЧ и ИК диапазонах*

Особенности пассивного визирования в СВЧ диапазоне. Радиотепловое излучение и синтез оптимального радиометрического приемника. Понятие чувствительности радиометра. Радиометрические приемники. Требования к реализации спутниковых радиометрических комплексов. Пассивное визирование в инфракрасном диапазоне.

### *4. РЛ методы исследования характеристик рассеяния поверхности Земли*

Особенности скаттерометрии в радиодиапазоне. Задачи, решаемые скаттерометрами. Способы обзора земной поверхности. Методы пространственной селекции. Способы снятия характеристик отражения и обеспечение точности измерений. Радиоскаттерометрические системы для исследования характеристик морской поверхности, ледовых поверхностей, растительности и использование их для определения некоторых свойств земных покровов. Результаты экспериментальных измерений характеристик отражения скаттерометрами.

### *5. Прецизионная радиовысотометрия из космоса*

Задачи, решаемые прецизионным радиовысотометром космического базирования. Обзор современного состояния спутниковой радиовысотометрии. Анализ статистических характеристик сигналов прецизионного радиовысотометра, отраженных от морской поверхности. Синтез оптимальных алгоритмов обработки отраженных сигналов и оценка потенциальной точности измерения высоты. Особенности реализации структурной схемы прецизионного радиовысотометра. Локальные и интегральные методы обработки отраженных сигналов в прецизионных радиовысотометрах.

#### *6. Основы теории радиолокаторов с синтезированным раскрывом антенны*

Назначение радиолокаторов с синтезированным раскрывом антенны (РСА) и способы обзора пространства. Возможность получения высокого разрешения по поверхности. Анализ траекторного сигнала РСА. Принципы обработки сигналов РСА, фокусированный и нефокусированный режимы. Расчет основных параметров и выбор формы зондирующего сигнала. Реализация РСА. Функциональная схема РСА и оценка качества получаемой информации. Цифровая обработка в РСА. Перспективные исследования в теории и практике РСА

#### *7. Радиолокаторы подповерхностного зондирования – георадары*

Электрические свойства сред с потерями (диссипативные среды) и их влияние на характеристики прохождения радиоволн. Отражение электромагнитных волн от слоистой среды. Методы радиолокационного подповерхностного зондирования. Получение радарограммы подповерхностного зондирования одиночных объектов в грунте. Антенны георадаров. Особенности обработки подповерхностных сигналов: метод инверсной фильтрации, кепстральная обработка сигналов.

#### *8. Реализация спутниковых радиотехнических комплексов дистанционного зондирования*

Реализация спутниковых радиометрических комплексов «ИКАР-ДЕЛЬТА» и «ДЕЛЬТА-2Д». Примеры разработанных и испытанных радиоскаттерометрических систем для исследования характеристик морской поверхности. Особенности реализации структурной схемы прецизионного радиовысотомера «ТОРЕХ-POSEIDON». Перспективные исследования в теории и практике РСА. Примеры разработанных и испытанных георадаров.

### **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 1 семестр - дифференцированный зачет.

#### **Вопросы для самоконтроля и проведения зачета**

1. Как рассчитать удельную ЭПР шероховатой поверхности при вертикальном и наклонном падении луча в случае непрерывного излучения и в случае импульсного излучения?
2. Какую модель поверхности называют феноменологической?
3. Какие особенности возникают при отражении радиосигналов от морской поверхности?

4. Какое уравнение называют основным уравнением радиолокации? Как дальность действия локатора связана с параметрами РЛС и характеристиками цели?
5. От чего зависит излучательная способность атмосферы, водной среды, ледового и материкового покровов?
6. Поясните, что такое температурный контраст?
7. Как определить антенную температуру, фиксируемую РМ?
8. Перечислите типы радиометрических приемников и особенности их реализации. Изобразить функциональную схему модуляционного РМ.
9. Дайте определение флуктуационной чувствительности РМ.
10. Как разрешить противоречие между требованиями широкой зоны обзора и высокой пространственной разрешающей способностью РМ космического базирования для исследования характеристик подстилающей поверхности?
11. Поясните особенности пространственной селекции: по угловым координатам; по частоте отраженного сигнала; по времени.
12. Какие совместно используемые методы селекции применяются для выделения сигнала заданной площадки с размерами, ограниченными в двух направлениях?
13. Поясните способы снятия характеристик отражения исследуемого скаттерометром участка местности и какие достижимы точности оценок характеристик рассеяния?
14. Сигналы земных покровов имеют случайный характер и флуктуируют, их свойства оценивают статистически путем обработки результатов измерений. Какое число усредняемых образцов целесообразно выбирать?
15. Почему скаттерометры должны работать на нескольких разнесенных рабочих длинах волн, т. е. представлять собой многочастотный радиолокационный комплекс?
16. Поясните структуру оптимального дискриминатора следящего измерителя ПРВ?
17. От чего зависят систематические погрешности определения высоты?
18. От чего зависят случайные погрешности определения высоты?
19. Поясните зависимость потенциальной точности измерения высоты от отношения с/ш.
20. Из каких блоков состоят структурные схемы ПРВ с обработкой отраженного сигнала во временной и частотной области.
21. Из каких соображений выбирается длина волны излучения РСА?
22. Поясните расчет частоты повторения зондирующих импульсов при заданной полосе обзора по дальности на лоцируемой поверхности для РСА самолетного и космического базирования?
23. Как рассчитать требуемую мощность передатчика при реализации потенциальной разрешающей способности РСА?
24. Каковы требования к корреляционным шумам зондирующих сигналов РСА?
25. Дайте сравнительную оценку систем РСА с наземной и полной бортовой обработкой.

26. Оцените требования к стабильности несущей частоты  $f_0$  в РСА.
27. В чем причина возникновения «зернистости» изображения (когерентный шум - спекл-шум) и каковы способы подавления спекл-шума?
28. Какое число азимутальных (частотных) каналов с учетом расхода на некогерентное накопление требуется для съемки непрерывной радиолокационной карты?
29. Поясните особенности реализации процессора синтеза устройства обработки РСА.
30. Укажите основные различия между георадарами и традиционными («атмосферными») РЛС.
31. Несущую частоту и ширину спектра зондирующего сигнала необходимо выбирать из противоречивых требований. Как удовлетворить этим требованиям?
32. Поясните, от чего зависит скорость распространения электромагнитных волн в среде?
33. Поясните, как оценить отражающую способность среды?
34. Чем определяется требуемый динамический диапазон приемника георадара?
35. Чем определяется потенциал георадара?
36. Дайте оценку интервала корреляции случайных флуктуаций непрерывных и импульсных радиосигналов, отраженных от нижней границы слоя (в предположении, что отражение, как и для верхней границы, диффузное).

### **Вопросы, включенные в билеты для проведения зачетов**

1. Синтез алгоритма работы оптимального измерителя. Потенциальная точность измерения неизвестного параметра. Зависимость потенциальной точности измерения параметра от отношения сигнал/шум и вида ДАФ сигнала.
2. Потенциальная точность измерения дальности и скорости. Выбор оптимальной формы зондирующих сигналов. Построение оптимального измерителя.
3. Принцип построения оптимальных и квазиоптимальных измерителей переменных параметров. Реализация дискриминатора и экстраполятора. Шумовые и динамические погрешности следящих измерителей.
4. РЛС картографирования поверхности Земли. Реализация синтезированной апертуры антенны. Алгоритм обработки отраженных сигналов. В чем сущность предварительной обработки сигналов в РСА?
5. Блок-схема РСА в комплексе с бортовыми системами КА, функциональная схема ПРМ. Расчет отношения сигнал/шум. Как оценивается качество работы РСА?
6. РСА - фокусированный и нефокусированный режимы, оценка разрешающей способности в каждом случае. Выбор основных параметров РСА.
7. Принципы цифровой обработки сигналов в РСА. Методы снижения требуемой производительности РСА. Требования к стабильности ориентации РСА на орбите.
8. Радиометрические системы обзора поверхности Земли. Понятие яркостной

температуры. Выбор частотного диапазона.

9. Синтез оптимального алгоритма реализации энергетического радиометра. Оценка чувствительности радиометра.

10. Схемы компенсационного и модуляционного радиометров.

Чувствительность

радиометра. Расчет дальности действия радиометра для поверхностно - распределенных и сосредоточенных целей.

11. Сканирующий радиометр. Основные требования, предъявляемые к радиометру. Возможности расширения зоны обзора. Выбор числа каналов. Расчет дальности действия радиометра для поверхностно-распределенных и сосредоточенных целей.

12. Особенности систем подпочвенного зондирования.

13. Что такое сверхширокополосные сигналы? Методы подповерхностного зондирования.

14. Что такое инверсная фильтрация и как она осуществляется?

15. Уравнение радиолокации при зондировании слоя в георадаре.

16. Частотная зависимость уравнения дальности действия георадара для однослойной среды.

17. Методы подповерхностного зондирования.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **Основная литература**

1. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И. Локационные методы исследования объектов и сред. Учебник./Под ред. профессора А.И. Баскакова. – М.: Академия. 2011.

2. Вопросы подповерхностной радиолокации. Под ред. А.Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005.

3. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2007.

4. Радиотехнические системы. Учебник. Под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Академия. 2008.

5. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И. Зондирующие радиолокационные сигналы. Учебное пособие. Издательский Дом МЭИ, 2011.

6. . Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Под ред. профессора Г.С. Кондратенкова. – М. Радиотехника, 2005.

### **Дополнительная литература**

1. . Вопросы перспективной радиолокации. Под ред. профессора А.В. Соколова. – М. Радиотехника, 2005.



2. Объекты радиолокации. Обнаружение и распознавание. Под ред. д.т.н., проф. А.А. Соколова. М.: Радиотехника, 2011.
3. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И. Цифровые процессоры некогерентной обработки сигналов в обзорных РЛС. Методическое пособие. М.: Издательский Дом МЭИ, 2012.
4. Методы исследования радиолокационных характеристик объектов. Под ред. С.В. Ягольникова. М.: Радиотехника, 2012.

Электронные образовательные ресурсы:

[www.dsps.ru](http://www.dsps.ru); [www.sirenza.com](http://www.sirenza.com); [www.hittite.com](http://www.hittite.com)