

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Директор физтех-школы**  
**аэрокосмических технологий**  
**С.С. Негодяев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Космическая радиолокация
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Космические технологии
	Физтех-школа Аэрокосмических Технологий
	кафедра космических информационных систем
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет  
2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 45 час.  
семинары: 15 час.  
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: С.Э. Григас, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры космических информационных систем 04.06.2020

## Аннотация

В курсе излагаются теоретические основы построения радиолокаторов космического базирования. В первую очередь излагаются особенности ведения радиолокационной съемки земной поверхности из космоса, принципы работы радиолокатора. Обсуждаются вопросы взаимодействия радиоволн с объектами радиолокационного наблюдения, элементы статистической теории обнаружения сигналов, принципы синтезирования радиоапертуры. Рассматриваются принципы построения космических радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны (РСА), режимы работы космических РСА, алгоритмы синтеза радиолокационных изображений, получаемых космическими РСА, и процедуры их дальнейшей обработки. Курс содержит в себе обсуждение базовых физических вопросов, разбор задач и примеров, без которых невозможно глубокое понимание общей физики протекающих процессов. Для успешного освоения курса слушателям необходимо знать общий курс физики, основные понятия математической статистики.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по космической радиолокации для использования в областях и дисциплинах естественнонаучного профиля, формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

### Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания в области космической радиолокации;
- научить студентов на примерах и задачах проводить расчёты основных характеристик космических радиолокационных комплексов (РЛК), оценивать качество получаемой РЛК информации, самостоятельно анализировать полученные результаты.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами

	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

новые научные результаты

ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия и законы классической электродинамики;
- фундаментальные понятия, основные законы и методы теории вероятностей и математической статистики;
- современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения прикладных и технологических задач дистанционного зондирования Земли из космоса с использованием космических радиолокационных комплексов;
- делать правильные выводы из сопоставления теоретических результатов и экспериментальных данных дистанционного зондирования Земли;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- навыками постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов эксперимента и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение в радиолокацию	12			6
2	Элементы статистической теории обнаружения сигналов	10			5
3	Некогерентные радиолокаторы космического базирования	8			4
4	Принципы синтезирования радиоапертуры	8	8		16
5	Космические радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны	7	7		14
Итого часов		45	15		45
Подготовка к экзамену		30 час.			

Общая трудоёмкость	135 час., 3 зач.ед.
--------------------	---------------------

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Введение в радиолокацию

Частотные диапазоны, используемые в космической радиолокации. Поляризация радиосигналов при передаче и приеме.

Понятие эффективной поверхности рассеяния (ЭПР). Диаграмма обратного рассеяния, примеры ЭПР простейших тел, оценки ЭПР объектов сложной формы. Удельная ЭПР.

Принципы работы радиолокатора. Структурная схема радиолокатора. Основные характеристики антенн (диаграмма направленности, коэффициент направленного действия, коэффициент усиления). Основные характеристики приемного и передающего тракта.

Уравнение дальности радиолокатора.

Характеристики информации, получаемой радиолокатором.

##### 2. Элементы статистической теории обнаружения сигналов

Элементы теории вероятностей для непрерывных величин.

Принцип работы квадратурного детектора. Статистические свойства шума и процесса сигнал + шум на выходе квадратурного детектора.

Принцип работы порогового обнаружителя. Ошибки первого и второго рода. Критерий Неймана-Пирсона.

Расчет кривых обнаружения целей с постоянной ЭПР на фоне белого гауссова шума. Модели Сверлинга. Расчет кривых обнаружения целей с флуктуирующей ЭПР.

Методы обработки радиолокационной информации с постоянным уровнем ложных тревог.

##### 3. Некогерентные радиолокаторы космического базирования

Геометрия наблюдения. Расчет орбитальной скорости. Расчет углов и дальностей до цели. Расчет ширины полосы съемки и полосы обзора. Расчет размеров пятна засветки.

Пространственное разрешение некогерентных радиолокаторов.

Энергетические характеристики некогерентных радиолокаторов. Понятие удельной ЭПР. Уравнение дальности.

Пример обоснования облика космического РЛК бокового обзора, предназначенного для контроля морской обстановки.

##### Семестр: 2 (Весенний)

##### 4. Принципы синтеза радиопертуры

Частотный и антенный подходы к объяснению принципов синтеза апертуры. Понятие радиоголограммы и радиолокационного изображения. Комплексные и энергетические радиолокационные изображения.

Нефокусированный синтез. Условие применимости нефокусированного синтеза. Связь между разрешением по частоте и угловым разрешением. Функция неопределенности принимаемого сигнала. Пространственное разрешение при нефокусированном синтезе.

Фокусированный синтез. Методы обработки сигнала при фокусированном синтезе. Пространственное разрешение при фокусированном синтезе. Предельно достижимое пространственное разрешение.

Понятие миграции дальности. Методы устранения миграции дальности на радиолокационных изображениях.

## 5. Космические радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны

Энергетические характеристики космических РСА. Радиометрическое разрешение РСА.

Помехи неоднозначности. Функция неопределенности принимаемых сигналов. Неоднозначность по азимуту. Неоднозначность по дальности.

Режимы работы космических РСА. Маршрутный режим. Режим широкозахватной съемки (ScanSAR). Прожекторный режим. Поляриметрическая съемка. Интерферометрическая съемка.

Синтез радиолокационных изображений в космических РСА. Обработка и регистрация радиолокационных изображений. Современное состояние и перспективы развития космических РСА. Методы математического моделирования космических радиолокационных систем. Аналитические и имитационные модели.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория для лекционных занятий/практических занятий, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Справочник по радиолокации / Под ред. М.И. Скольника. Пер. с англ. Под общей ред. В.С. Вербы. В 2 книгах. Книга 2. Москва: Техносфера, 2014 г.
2. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга первая. Левин Б.Р. - М. Сов. Радио, 1969.
3. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. – М.: Радиотехника, 2010 г.

### Дополнительная литература

1. Радиолокация и связь - перспективные технологии [Текст], Молодежная научно-техническая конференция "Радиолокация и связь-перспективные технологии", 28 фев. - 2 марта 2003 г. : (тезисы докладов/Московский физико-техн. ин-т (гос.ун-т) [и др.], -М., Радиофизика, 2003
1. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю.. Радиовидение. М.: Радиотехника, 2005.
2. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. И доп. / Под ред. Я.Д.Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007.
3. Обнаружение наземных объектов. Верба В.С. М.:Радиотехника. 2007.

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://aess.cs.unh.edu/> - курс лекций по радиолокационным системам, университет Нью-Хемпшира.
2. <http://ieeexplore.ieee.org> - электронная библиотека IEEE
3. <http://lib.mipt.ru> – электронная библиотека Физтеха
4. [elibrary.ru](http://elibrary.ru) – научная электронная библиотека

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), OpenOffice.

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса «Космическая радиолокация» требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, семинаров, учебной и научной литературе);
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях;
- подготовку к контрольным работам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных работ, а также индивидуальных консультаций.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра космических информационных систем
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** С.Э. Григас, канд. физ.-мат. наук



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации

ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Космическая радиолокация» обучающийся должен:

### знать:

- фундаментальные понятия и законы классической электродинамики;
- фундаментальные понятия, основные законы и методы теории вероятностей и математической статистики;
- современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.

### уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения прикладных и технологических задач дистанционного зондирования Земли из космоса с использованием космических радиолокационных комплексов;
- делать правильные выводы из сопоставления теоретических результатов и экспериментальных данных дистанционного зондирования Земли;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- навыками постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов эксперимента и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

### 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль представляет собой проверку самостоятельной работы, проведение контрольных работ в письменной форме по каждой теме.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

Варианты контрольных работ:

Контрольная работа №1 по теме «Введение в радиолокацию»

Вариант 1

1. Перечислить частотные диапазоны, используемые в космической радиолокации. В чём заключается влияние трассы распространения на характеристики радиосигнала?
2. Дать определение эффективной поверхности рассеяния (ЭПР). Привести примеры ЭПР простейших тел.
3. Сформулировать основные принципы работы радиолокатора. Привести структурную схему радиолокатора.
4. Дать определение коэффициенту направленного действия антенны.
5. Записать уравнение дальности однопозиционного радиолокатора для средней и импульсной мощности. Объяснить смысл входящих в него переменных. Дать физическую трактовку уравнения.

Вариант 2

1. Перечислить виды поляризаций сигнала на передачу и на приём, используемые в космической радиолокации. Чем определяется выбор используемой поляризации?
2. Дать определение удельной эффективной поверхности рассеяния (ЭПР). От каких основных факторов зависит удельная ЭПР подстилающей поверхности в радиодиапазоне?
3. Перечислить основные характеристики антенн и приемо-передающего тракта радиолокатора.
4. Дать определение коэффициенту использования апертуры антенны и коэффициенту усиления.
5. Записать уравнение дальности двухпозиционного радиолокатора для средней мощности. Объяснить смысл входящих в него переменных. Дать физическую трактовку уравнения.

Контрольная работа №2 по теме «Элементы статистической теории обнаружения сигналов»

Вариант 1

1. Дать определение функции распределения непрерывной случайной величины. Перечислить основные свойства функции распределения.
2. Дать определение начальному и центральному моментам распределения.
3. Описать статистические свойства процесса сигнал+шум на выходе квадратурного детектора (на входе – белый гауссов шум и гармонический сигнал с постоянными во времени параметрами).
4. Записать выражения для вероятностей ошибок первого и второго рода при пороговой обработке сигнала.
5. Описать процедуру построения кривой обнаружения в случае использования критерия Неймана-Пирсона.

Вариант 2

1. Дать определение плотности вероятности непрерывной случайной величины. Перечислить основные свойства плотности вероятности.
2. Дать определение квантилю распределения.

3. Сформулировать принципы работы квадратурного детектора. Описать статистические свойства шума на выходе квадратурного детектора (на входе – белый гауссов шум).
4. Сформулировать основные принципы пороговой обработки сигнала.
5. Сформулировать критерий Неймана-Пирсона.

#### Контрольная работа №3 по теме «Некогерентные радиолокаторы космического базирования»

##### Вариант 1

1. Вывести выражение для расчета ширины полосы съемки.
2. Вывести выражение для расчета размеров пятна засветки.
3. Вывести формулу для пространственного разрешения некогерентных радиолокаторов бокового обзора.
4. Получить условие однозначности по дальности в виде выражения для предельно допустимой частоты повторения импульсов.
5. Записать выражения для оценки отношений сигнал-шум и сигнал-помеха.

##### Вариант 2

1. Вывести выражения для расчета углов и дальностей до цели.
2. Вывести выражение для расчёта ширины полосы обзора.
3. Вывести выражение для расчета орбитальной скорости и скорости движения подспутниковой точки.
4. Получить условие однозначности по азимуту в виде выражения для предельно допустимой частоты повторения импульсов.
5. Записать уравнение дальности для космического некогерентного радиолокатора.

#### Контрольная работа №4 по теме «Принципы синтезирования радиоапертуры»

##### Вариант 1

1. Сформулировать принципы синтезирования радиоапертуры с использованием антенного подхода.
2. Сформулировать основные принципы формирования комплексных и энергетических радиолокационных изображений.
3. Перечислить условия применимости нефокусированного синтеза апертуры.
4. Сформулировать основные принципы фокусированного синтеза апертуры.
5. Записать выражение для пространственного разрешения при фокусированном синтезе.

##### Вариант 2

1. Сформулировать принципы синтезирования радиоапертуры с использованием частотного подхода.
2. Сформулировать основные принципы формирования радиоголограммы.
3. Сформулировать основные принципы нефокусированного синтеза апертуры.
4. Записать выражение для пространственного разрешения при нефокусированном синтезе.
5. Что такое миграция дальности? Перечислить условия, при которых она не возникает.

#### Контрольная работа №5 по теме «Космические радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны»

##### Вариант 1

1. Дать определение удельному шумовому эквиваленту PCA.
2. Дать определение радиометрическому разрешению PCA.
3. Перечислить основные режимы работы PCA. Сформулировать принципы работы PCA в маршрутном и прожекторном режимах съемки.
4. Сформулировать основные принципы поляриметрической съемки.
5. Сформулировать основные принципы вторичной обработки радиолокационных изображений.

##### Вариант 2

1. Записать уравнение дальности радиолокатора для однопозиционного PCA.
2. Записать уравнение дальности радиолокатора для двухпозиционного PCA.
3. Перечислить основные режимы работы PCA. Сформулировать принципы работы PCA в маршрутном режиме съемки и режиме ScanSAR.
4. Сформулировать основные принципы интерферометрической съемки.
5. Сформулировать основные принципы первичной обработки радиолокационных изображений.

#### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Итоговая аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена (устного).

Примеры экзаменационных билетов:

##### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Введение в радиолокацию. Частотные диапазоны, используемые в космической радиолокации. Поляризация радиосигналов при передаче и приеме.
2. Космические РСА. Энергетические характеристики космических РСА. Радиометрическое разрешение РСА.

##### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. Введение в радиолокацию. Понятие эффективной поверхности рассеяния (ЭПР). Диаграмма обратного рассеяния, примеры ЭПР простейших тел, оценки ЭПР объектов сложной формы. Удельная ЭПР.
2. Космические РСА. Помехи неоднозначности. Функция неопределенности принимаемых сигналов. Неоднозначность по азимуту. Неоднозначность по дальности.

##### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

1. Введение в радиолокацию. Принципы работы радиолокатора. Структурная схема радиолокатора.
2. Космические РСА. Режимы работы космических РСА. Маршрутный режим. Режим широкозахватной съемки (ScanSAR). Прожекторный режим.

##### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. Введение в радиолокацию. Основные характеристики СВЧ-антенн. Основные характеристики приемного и передающего тракта радиолокатора.
2. Космические РСА. Режимы работы космических РСА. Поляриметрическая съемка.

##### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

1. Введение в радиолокацию. Уравнение дальности радиолокатора. Характеристики информации, получаемой радиолокатором.
2. Космические РСА. Основные принципы первичной и вторичной обработки радиолокационных изображений.

##### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

1. Элементы статистической теории обнаружения сигналов. Принцип работы квадратурного детектора. Статистические свойства шума и процесса сигнал + шум на выходе квадратурного детектора.
2. Некогерентные радиолокаторы космического базирования. Геометрия наблюдения в некогерентных космических радиолокаторах. Расчет углов и дальностей до цели. Расчет ширины полосы съемки и полосы обзора. Расчет размеров пятна засветки.

##### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

1. Элементы статистической теории обнаружения сигналов. Принцип работы порогового обнаружителя. Ошибки первого и второго рода. Критерий Неймана-Пирсона.
2. Некогерентные радиолокаторы космического базирования. Пространственное и радиометрическое разрешение некогерентных радиолокаторов.

##### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

1. Элементы статистической теории обнаружения сигналов. Расчет кривых обнаружения целей с постоянной ЭПР на фоне белого гауссова шума.

2. Некогерентные радиолокаторы космического базирования. Энергетические характеристики некогерентных космических радиолокаторов. Понятие удельной ЭПР. Уравнение дальности.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

1. Элементы статистической теории обнаружения сигналов. Модели Сверлинга. Расчет кривых обнаружения целей с флуктуирующей ЭПР.
2. Принципы синтезирования радиоапертуры. Частотный и антенный подходы к объяснению принципов синтезирования апертуры.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

1. Элементы статистической теории обнаружения сигналов. Методы обработки радиолокационной информации с постоянным уровнем ложных тревог.
2. Принципы синтезирования радиоапертуры. Понятие радиоголограммы и радиолокационного изображения. Комплексные и энергетические радиолокационные изображения.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

1. Космические РСА. Современное состояние и перспективы развития космических РСА.
2. Принципы синтезирования радиоапертуры. Нефокусированный синтез. Условие применимости нефокусированного синтеза. Связь между разрешением по частоте и угловым разрешением. Пространственное разрешение при нефокусированном синтезе.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

1. Космические РСА. Методы математического моделирования космических радиолокационных систем. Аналитические и имитационные модели.
2. Принципы синтезирования радиоапертуры. Фокусированный синтез. Методы обработки сигнала при фокусированном синтезе. Пространственное разрешение при фокусированном синтезе. Предельно достижимое пространственное разрешение.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13

1. Космические РСА. Режимы работы космических РСА. Интерферометрическая съемка. Принципы синтезирования радиоапертуры.
2. Понятие миграции дальности. Методы устранения миграции дальности на

#### Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных работ;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных работ;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных работ;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту по результатам контрольных работ, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту по результатам контрольных работ, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту по результатам контрольных работ, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту по результатам контрольных работ, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту по результатам контрольных работ, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту по результатам контрольных работ, а также, если во время ответа экзаменационного билета, он показал что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Во время проведения контрольных работ/тестов обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, калькуляторами.

Зачет по дисциплине проводится по итогам текущей успеваемости, оцениваемым по результатам контрольных работ по каждой теме.

Зачет проводится путем организации специального опроса в устной форме, если результатом выполнения контрольной работы является оценка неудовлетворительно или оценка отсутствует по уважительной причине.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 40 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Итоговая экзаменационная оценка выставляется студенту с учетом оценки его работы в семестре, сдачи контрольных работ, зачета. Экзамен проводится в устной форме. Традиционная форма билета содержит два теоретических вопроса по программе курса.

Перед началом экзаменационной сессии студенты получают перечень вопросов, ответы на которые необходимо знать для успешной сдачи экзамена. Ответ студента оценивается по 10-балльной шкале.