

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор передовой инженерной  
школы радиолокации,  
радионавигации и программной  
инженерии**

**М.А. Кудров**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Радиолокация
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра технологий проектирования сложных технических систем
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.В. Трифонов

Программа обсуждена на заседании кафедры технологий проектирования сложных технических систем  
11.03.2024

## Аннотация

Дисциплина "Радиолокация" призвана сформировать знания теоретических основ радиолокации, базирующихся на понимании основных принципов использования радиоволн и обработки радиолокационных сигналов для решения основных задач радиолокации. Сформированные знания должны обеспечивать способность обучающихся самостоятельно (с помощью литературы и др. средств) изучать принципы построения радиолокационных устройств.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- сформировать знания теоретических основ радиолокации, базирующихся на понимании основных принципов использования радиоволн и обработки радиолокационных сигналов для решения основных задач радиолокации. Сформированные знания должны обеспечивать способность обучающихся самостоятельно (с помощью литературы и др. средств) изучать принципы построения радиолокационных устройств.

#### Задачи дисциплины

изучить:

- виды и задачи радиолокации, а также основную терминологию;
- радиолокационные сигналы, их виды, принцип неопределенности и основы теории их разрешения;
- явление вторичного излучения радиоволн и понятие эффективной поверхности рассеивания;
- основы теории обнаружения радиолокационных сигналов;
- основное уравнение радиолокации и влияние различных факторов на дальность действия радиолокационных систем;
- основы теории радиолокационных измерений;
- теоретические основы построения измерителей скорости, дальности и угловых координат;
- общие сведения о распознавании радиолокационных целей.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- задачи радиолокации, виды радиолокации, а также основную терминологию, принятую в радиолокации;
- основные тактико-технические характеристики радиолокационных систем;
- виды радиолокационных сигналов, их автокорреляционные функции и спектральное представление;
- принцип неопределенности и понятие ее функции, а также основы совместного разрешения сигналов по одному или нескольким параметрам;
- явление вторичного излучения радиоволн и понятие эффективной поверхности рассеивания.

уметь:

- выделять основные подходы теории обнаружения радиолокационных сигналов, показатели качества и основные критерии обнаружения;
- определять принципы обнаружения сигналов с детерминированными и случайными параметрами, понятие "оптимальный фильтр";
- определять принципы корреляционной, фильтровой и корреляционно-фильтровой обработки сигналов, а также принципы построения оптимальных приемников обработки основных видов сигналов;
- выводить уравнение радиолокации и влияние различных факторов на дальность действия радиолокационных систем.

владеть:

- методами оценивания потенциальной точности радиолокационных измерений, а также потенциальную точность измерения дальности, скорости и угловых координат;
- принципами построения дискриминаторов дальности, скорости и угловых координат;
- принципами измерения дальности и скорости в радиолокационных системах с высокой и низкой частотами повторения импульсов;
- общими сведениями о распознавании радиолокационных целей.

#### 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	Виды и задачи радиолокации	5	5		10
2	Радиолокационные сигналы	6	5		10
3	Вторичное излучение радиоволн	6	5		10
4	Основы теории обнаружения радиолокационных сигналов	4	5		5
5	Дальность действия РЛС	4	5		5
6	Основы теории радиолокационных измерений	5	5		5
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 6 (Весенний)

###### 1. Виды и задачи радиолокации

Радиолокация как отрасль радиоэлектроники. Краткие сведения из истории развития радиолокации. Основные понятия и терминология в радиолокации. Задачи радиолокации и физические явления, используемые в радиолокации. Виды радиолокации. Основные тактико-технические характеристики РЛС. Обобщенная структурная схема РЛС.

## 2. Радиолокационные сигналы

Зондирующий сигнал. Обобщенная математическая модель зондирующего сигнала. Виды зондирующих сигналов. Автокорреляционная функция и комплексный спектр зондирующего сигнала. Аналитический сигнал. Теорема Винера-Хинчина применительно к радиолокационным сигналам. Простые импульсные радиолокационные сигналы. Простой одиночный радиолокационный импульс. Автокорреляционная функция и спектр простого РЛИ. Импульсная мощность и энергия радиолокационного импульса.

## 3. Вторичное излучение радиоволн

Явление вторичного излучения радиоволн. Явление вторичного излучения. Виды вторичного излучения (зеркальное, диффузное и резонансное). Радиолокационная цель. Классификация радиолокационных целей. Сложные и простые радиолокационные цели. Сосредоточенные и распределенные цели. Эффективная поверхность рассеивания (ЭПР).

## 4. Основы теории обнаружения радиолокационных сигналов

Статистические характеристики помех и шумов. Математическая модель флюктуационной помехи. Аддитивная и мультипликативная помехи. Статистика флюктуационной помехи. Белый и квазирезонансный шум. Плотность распределения вероятности значений отраженного от цели сигнала.

## 5. Дальность действия РЛС

Дальность действия РЛС в свободном пространстве. Основное уравнение радиолокации. Энергетический потенциал РЛС. Дальность действия РЛС в свободном пространстве. Влияние направленных свойств антенны и длины волны на дальность действия РЛС. Влияние на дальность действия энергетического потенциала. Суммарные потери, учитываемые при расчетах дальности действия РЛС.

## 6. Основы теории радиолокационных измерений

Методика решения задачи радиолокационного измерения параметров сигналов. Задачи радиолокационных измерений. Качественные показатели и критерии оптимального измерения параметров. Правило оптимального измерения.

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

Необходимое оборудование для лекций: учебная аудитория, компьютер (ноутбук) и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Теоретические основы радиолокации [Текст] / В. Е. Дулевич [и др.] ; под ред. В. Е. Дулевича - М. Сов. радио, 1964

### Дополнительная литература

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

Не используются

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

Для контроля и коррекции знаний, обучающиеся могут использовать компьютерное тестирование.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

Рекомендуется успешно осуществлять защиту лабораторных работ, так как это упрощает итоговую аттестацию по предмету.

Для подготовки к итоговой аттестации по предмету лучше всего пользоваться материалами для подготовки к лабораторным работам и отчеты к лабораторным работам, защищенным в ходе учебного семестра.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Беспилотные авиационные системы  
Физтех-школа авиационных и цифровых технологий  
кафедра технологий проектирования сложных технических систем  
**курс:** 3  
**квалификация:** бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** А.В. Трифонов

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Радиолокация» обучающийся должен:

### знать:

- задачи радиолокации, виды радиолокации, а также основную терминологию, принятую в радиолокации;
- основные тактико-технические характеристики радиолокационных систем;
- виды радиолокационных сигналов, их автокорреляционные функции и спектральное представление;
- принцип неопределенности и понятие ее функции, а также основы совместного разрешения сигналов по одному или нескольким параметрам;
- явление вторичного излучения радиоволн и понятие эффективной поверхности рассеивания.

### уметь:

- выделять основные подходы теории обнаружения радиолокационных сигналов, показатели качества и основные критерии обнаружения;
- определять принципы обнаружения сигналов с детерминированными и случайными параметрами, понятие "оптимальный фильтр";
- определять принципы корреляционной, фильтровой и корреляционно-фильтровой обработки сигналов, а также принципы построения оптимальных приемников обработки основных видов сигналов;
- выводить уравнение радиолокации и влияние различных факторов на дальность действия радиолокационных систем.

### владеть:

- методами оценивания потенциальной точности радиолокационных измерений, а также потенциальную точность измерения дальности, скорости и угловых координат;
- принципами построения дискриминаторов дальности, скорости и угловых координат;
- принципами измерения дальности и скорости в радиолокационных системах с высокой и низкой частотами повторения импульсов;
- общими сведениями о распознавании радиолокационных целей.

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

1. Виды и задачи радиолокации, а также физические явления, используемые в радиолокации.
2. Основные тактико-технические характеристики РЛС.

3. Обобщенная математическая модель зондирующего сигнала. Виды зондирующих сигналов.
4. Понятие автокорреляционной функции и комплексного спектра зондирующего сигнала.
5. Аналитический сигнал. Теорема Винера-Хинчина применительно к радиолокационным сигналам.
6. Автокорреляционная функция и спектр простого РЛИ. Импульсная мощность и энергия радиолокационного импульса.
7. Сложные широкополосные радиолокационные сигналы. База и коэффициент сжатия.
8. Радиоимпульс с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Автокорреляционная функция и спектр радиоимпульса с ЛЧМ. База и коэффициент сжатия радиоимпульса с ЛЧМ.
9. Автокорреляционная функция и спектр радиоимпульса с КФМ. База и коэффициент сжатия радиоимпульса с КФМ.
10. m-последовательности КФМ.
11. Бесконечная периодическая последовательность простых радиолокационных импульсов (РЛИ) и ее спектр. Скважность.
12. Пачки простых радиоимпульсов квазинепрерывного излучения, автокорреляционная функция и спектр пачки.
13. Функция неопределенности простого радиоимпульса.
14. Функция неопределенности пачки простых радиоимпульсов.
15. Функция неопределенности сигнала с ЛЧМ.
16. Функция неопределенности сигнала с КФМ.
17. Виды вторичного радиолокационного излучения.
18. Классификация радиолокационных целей.
19. Эффективная поверхность рассеивания (ЭПР). Зависимость ЭПР от длины волны и расстояний между излучателями.

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

1. ЭПР линейного вибратора.
2. ЭПР шара и выпуклой поверхности.
3. ЭПР металлической пластины.
4. Диаграмма обратного вторичного излучения.
5. Показатели качества обнаружения радиолокационного сигнала. Критерий Байеса.
6. Критерий Байеса и отношение правдоподобия в теории обнаружения радиолокационных сигналов.
7. Достаточная статистика, Правило оптимального обнаружения. Решающая функция.
8. Критерий идеального наблюдателя.
9. Критерий максимального правдоподобия.
10. Минимаксный критерий.
11. Критерий Неймана-Пирсона.
12. Критерий последовательного наблюдения (критерий Вальда).
13. Отношение правдоподобия и корреляционный интеграл.
14. Вероятность правильного обнаружения и ложной тревоги для корреляционного интеграла.
15. Оптимальный фильтр. Импульсная и комплексная частотные характеристики оптимального фильтра.
16. Обнаружение сигнала с полностью известными параметрами.
17. Обнаружение сигнала со случайной начальной фазой.
18. Обнаружение сигнала со случайной начальной фазой и амплитудой.
19. Корреляционная обработка радиолокационных сигналов. Корреляционный приемник.
20. Фильтровая обработка радиолокационных сигналов. Фильтровой приемник.
21. Корреляционно-фильтровая обработка радиолокационных сигналов. Корреляционно-фильтровой приемник."
22. Основное уравнение радиолокации. Энергетический потенциал РЛС. Дальность действия РЛС в свободном пространстве.



23. Дальность действия РЛС в условиях влияния кривизны Земли, отражений от поверхности и рефракции.
24. Изодалии и изодопы. Отражения от подстилающей поверхности в бортовых РЛС.
25. задачи и качественные показатели оптимальных измерений.
26. Методы оценивания потенциальной точности измерений.
27. Потенциальная точность измерений дальности и скорости.
28. Потенциальная точность оценивания угловых координат.

#### Билет 1

1. Следящие радиолокационные измерители дальности. Временные дискриминаторы.
2. Следящие радиолокационные измерители скорости. Дискриминаторы скорости.

#### Билет 2

1. Моноимпульсные угловые дискриминаторы.
2. Пространственный сигнал и пространственный оптимальный фильтр.

#### Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания предмета и в ходе беседы он верно и детально ответил на четыре (4) произвольных вопроса из выше приведенного перечня. Детальный ответ предполагает верные ответы на все уточняющие вопросы. Подготовка и защита инициативной курсовой работы является преимуществом.

Оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно, но не исчерпывающее детально ответил на четыре (4) произвольных вопроса из выше приведенного перечня (мог не ответить на некоторые уточняющие вопросы). Подготовка и защита инициативной курсовой работы является преимуществом.

Оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно, но не исчерпывающее детально ответил на четыре (4) произвольных вопроса из выше приведенного перечня (не ответил на уточняющие вопросы).

Оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно и достаточно детально ответил на три (3) произвольных вопроса из выше приведенного перечня. Детальный ответ предполагает верные ответы на все уточняющие вопросы. Подготовка и защита инициативной курсовой работы является преимуществом.

Оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно, но не исчерпывающее детально ответил на три (3) произвольных вопроса из выше приведенного перечня (не ответил на некоторые уточняющие вопросы). Подготовка и защита инициативной курсовой работы является преимуществом.

Оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно и достаточно детально ответил на два (2) произвольных вопроса из выше приведенного перечня. Детальный ответ предполагает верные ответы на все уточняющие вопросы.

Оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно и достаточно детально ответил на один (1) произвольный вопрос из выше приведенного перечня. Детальный ответ предполагает верные ответы на все уточняющие вопросы. Подготовка и защита инициативной курсовой работы является преимуществом.

Оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он верно, но не исчерпывающее детально ответил на один (1) произвольный вопрос из выше приведенного перечня (не ответил на уточняющие вопросы).

Оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он не смог ответить ни на один произвольный вопрос из выше приведенного перечня, но смог ответить на наводящие вопросы и вопросы с «подсказками».

Оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, если в ходе беседы он не смог ответить ни на один произвольный вопрос из выше приведенного перечня, а так же ни на один наводящий вопрос.

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

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также собственными конспектами занятий по предмету.

Экзамен проводится по итогам текущей активности в ходе занятий, защиты инициативной курсовой работы, и путем организации специального опроса, проводимого в простой устной форме, в виде беседы преподавателя и студента.