

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**ИО директора физтех-школы  
радиотехники и компьютерных  
технологий**

**Д.А. Гаврилов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Радиоэлектронные системы
<b>по направлению:</b>	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
<b>профиль подготовки:</b>	Телекоммуникационные сети и системы Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра мультимедийных технологий и телекоммуникаций
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: И.М. Кириллов, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры мультимедийных технологий и телекоммуникаций 01.03.2022

## Аннотация

Данный курс предназначен для ознакомления студентов с принципами функционирования радиотехнических систем, таких, как системы передачи информации, системы радиолокации и радионавигации. Студентам будут представлены основные типовые радиотехнические системы, их задачи и принципы технического решения данных задач. Также будет рассмотрены современные тенденции развития радиотехнических систем и их перспективы для решения практических задач. В результате изучения данного материала студенты научатся измерять основные характеристики радиотехнических систем, а также смогут использовать методы вычислительной математики и средства компьютерной техники для поиска оптимальных решений в радиотехнических системах.

Курс проходит в форме лекционных и семинарских занятий. Для успешного завершения курса необходимо посещение и конспектирование лекций, своевременное выполнение практических заданий и самостоятельная работа с дополнительной литературой.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Познакомить слушателей с принципами функционирования радиотехнических систем, таких как системы передачи информации, системы радиолокации и радионавигации.

#### Задачи дисциплины

- Получить представление об основных типовых радиотехнических системах, их задачах и принципах технического решения этих задач.
- Узнать о современных тенденциях развития радиотехнических систем и перспективах их использования для решения различных задач.
- Понять принципы системного подхода к проектированию радиотехнических устройств, входящих в состав систем.

### 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-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
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 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем своей профессиональной деятельности, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные и прикладные научные знания в области естественных наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности

ОПК-2 Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.1 Знает принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и умеет оценивать их достоинства и недостатки
ОПК-3 Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций при поиске научно-технической информации в своей профессиональной деятельности

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные характеристики антенн и антенных систем;
- особенности распространения радиоволн в различных условиях;
- основные требования к приёмо-передающим трактам радиоаппаратуры и сигнально-кодовым конструкциям;
- радиотехнические методы определения координат и параметров движения объектов;
- принципы построения систем местоопределения.

уметь:

- использовать основы системного подхода при разработке радиотехнических систем;
- определять структуру оптимальных устройств обработки информации, оценивать их качество;
- определять по заданным требованиям структуру и технические параметры системы;
- определять характеристики и структуру устройств, входящих в систему.

владеть:

- методами вычислительной математики и средствами компьютерной техники для поиска оптимальных решений при разработке радиосистем
- методами расчета и измерения основных характеристик радиотехнических систем.

### 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	Физические основы и принципы построения радиотехнических систем.	2			4
2	Принципы работы и основные характеристики антенн.	2			4
3	Фазированные антенные решетки.	2			4
4	Распространение электромагнитных волн в пространстве.	4			4
5	Структура и параметры сигнальных трактов радиоэлектронной аппаратуры.	4	3		10
6	Оптимальный прием сигналов.	4	4		8

7	Оценка параметров сигнала.	2			4
8	Радиолокационные цели и формирование отраженных сигналов.	4	4		10
9	Радиотехнические методы измерения угловых координат.	4	4		8
10	Радионавигационные системы.	2			4
Итого часов		30	15		60
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. Физические основы и принципы построения радиотехнических систем.

Основные особенности и предназначение систем передачи информации, радиолокационных систем, навигационных систем.

##### 2. Принципы работы и основные характеристики антенн.

Диполь Герца, поведение электромагнитного поля в ближней и дальней зонах. Направленные свойства диполя Герца. Диаграмма направленности, коэффициент усиления, входное сопротивление и шумовая температура антенны. Примеры антенн, используемых на практике.

##### 3. Фазированные антенные решетки.

Принципы диаграммообразования и управления лучом. Синтез диаграмм направленности линейной антенной решетки. Адаптивные антенные решетки.

##### 4. Распространение электромагнитных волн в пространстве.

Модели сред технической электродинамики. Распространение волны в среде без потерь. Влияние потерь в среде на распространение электромагнитных волн. Волны в неоднородных и анизотропных средах. Взаимодействие электромагнитных волн с границей раздела сред.

##### 5. Структура и параметры сигнальных трактов радиоэлектронной аппаратуры.

Коэффициент шума, гармонические и интермодуляционные искажения, динамический диапазон. Расчёт многокаскадных схем. Согласование сопротивлений.

##### 6. Оптимальный прием сигналов.

Обнаружение полностью известного сигнала. Обнаружение частично известного сигнала. Оптимальная согласованная фильтрация.

##### 7. Оценка параметров сигнала.

Оценка максимального правдоподобия. Свойства оценок. Граница Крамера-Рао. Оценка амплитуды и фазы сигнала. Оценка временного положения сигнала.

##### 8. Радиолокационные цели и формирование отраженных сигналов.

Эффективная площадь рассеяния целей. Дальность действия радиолокационных систем в свободном пространстве. Влияние условий распространения на дальность действия радиосистем. Импульсно-доплеровские РЛС.

#### 9. Радиотехнические методы измерения угловых координат.

Точность и разрешающая способность при измерении угловых координат. Пространственно-временная обработка сигналов. Пространственные фильтры и пространственные корреляторы. Реализация пространственных фильтров и пространственных корреляторов с помощью ФАР.

#### 10. Радионавигационные системы.

Наземные и спутниковые системы навигации и местоопределения.

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

Аудитория с мультимедийным проектором и компьютером, аудиторная доска, Matlab.

### **6. Перечень рекомендуемой литературы**

#### Основная литература

1. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности [Текст], [монография]/Е. Л. Фейнберг, -М., Наука : Физматлит, 1999

#### Дополнительная литература

1. Введение в теорию и технику радиотехнических систем [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. С. Лезин .— М. : Радио и связь, 1986 .— 279 с.
2. Теоретические основы радиолокации и радионавигации [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. Г. Сосулин .— М. : Радио и связь, 1992 .— 303 с.
3. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] : уч. пособие для вузов : доп. Гос. ком. СССР / С. И. Баскаков .— М. : Высшая школа, 1992 .— 416 с.
4. Распространение радиоволн [Текст] : учебник для вузов / М. П. Долуханов .— 4-е изд. — М. : Связь, 1972 .— 336 с.

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

1. <http://lib.mipt.ru> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> – библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
4. <http://www.itu.int/pub/T-REC/> – Рекомендации Сектора стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи МСЭ-Т
5. <http://www.itu.int/pub/R-REC/> – Рекомендации Сектора радиосвязи Международного союза электросвязи МСЭ-Р
6. <http://www.etsi.org/standards-search/> – стандарты Европейского института стандартизации телекоммуникаций ETSI
7. <http://www.ietf.org/rfc.html/> – документы инженерной рабочей группы Интернет RFC IETF

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

Для проведения семинаров необходим компьютер с установленной системой Matlab.

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

Успешное освоение курса «Радиоэлектронные системы» 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,
- выполнение работ в среде Matlab,
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам и тестам.

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

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
<b>профиль подготовки:</b>	Телекоммуникационные сети и системы Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра мультимедийных технологий и телекоммуникаций
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

**Разработчик:** И.М. Кириллов, канд. техн. 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-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
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 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем своей профессиональной деятельности, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные и прикладные научные знания в области естественных наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.1 Знает принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и умеет оценивать их достоинства и недостатки
ОПК-3 Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций при поиске научно-технической информации в своей профессиональной деятельности

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Радиоэлектронные системы» обучающийся должен:

### знать:

- основные характеристики антенн и антенных систем;
- особенности распространения радиоволн в различных условиях;
- основные требования к приёмо-передающим трактам радиоаппаратуры и сигнально-кодовым конструкциям;
- радиотехнические методы определения координат и параметров движения объектов;
- принципы построения систем местоопределения.

### уметь:

- использовать основы системного подхода при разработке радиотехнических систем;
- определять структуру оптимальных устройств обработки информации, оценивать их качество;
- определять по заданным требованиям структуру и технические параметры системы;
- определять характеристики и структуру устройств, входящих в систему.

### владеть:

- методами вычислительной математики и средствами компьютерной техники для поиска оптимальных решений при разработке радиосистем
- методами расчета и измерения основных характеристик радиотехнических систем.

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

Перечень типовых вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Физические основы и принципы построения радиотехнических систем. Типы и классификация радиотехнических систем. Основные особенности и предназначение систем передачи информации, радиолокационных систем, навигационных систем.
2. Принципы работы и основные характеристики антенн. Диполь Герца, поведение электромагнитного поля в ближней и дальней зонах. Направленные свойства диполя Герца. Диаграмма направленности, коэффициент усиления, входное сопротивление и шумовая температура антенны. Примеры антенн, используемых на практике.
3. Фазированные антенные решетки. Принципы диаграммообразования и управления лучом. Синтез диаграмм направленности линейной антенной решетки. Адаптивные антенные решетки.
4. Распространение электромагнитных волн в пространстве. Модели сред технической электродинамики. Распространение волны в среде без потерь. Влияние потерь в среде на распространение электромагнитных волн. Волны в неоднородных и анизотропных средах. Взаимодействие электромагнитных волн с границей раздела сред.
5. Структура и параметры сигнальных трактов радиоэлектронной аппаратуры. Коэффициент шума, гармонические и интермодуляционные искажения, динамический диапазон. Расчёт многокаскадных схем. Согласование сопротивлений.
6. Оптимальный прием сигналов. Обнаружение полностью известного сигнала. Обнаружение частично известного сигнала. Оптимальная согласованная фильтрация.
7. Оценка параметров сигнала. Оценка максимального правдоподобия. Свойства оценок. Граница Крамера-Рао. Оценка амплитуды и фазы сигнала. Оценка временного положения сигнала.
8. Радиолокационные цели и формирование отраженных сигналов. Эффективная площадь рассеяния целей. Дальность действия радиолокационных систем в свободном пространстве. Влияние условий распространения на дальность действия радиосистем. Импульсно-доплеровские РЛС.
9. Радиотехнические методы измерения угловых координат. Точность и разрешающая способность при измерении угловых координат. Пространственно-временная обработка сигналов. Пространственные фильтры и пространственные корреляторы. Реализация пространственных фильтров и пространственных корреляторов с помощью ФАР.
10. Радионавигационные системы. Наземные и спутниковые системы навигации и местоопределения.

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

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена:

1. Типы и классификация радиотехнических систем.
2. Электромагнитное поле диполя Герца, поведение поля в ближней и дальней зонах.
3. Основные технические характеристики антенн.
4. Принципы диаграммообразования и управления лучом в фазированных антенных решетках.
5. Адаптивные антенные решетки, принципы работы, критерии адаптации.
6. Модели сред технической электродинамики и границы их применимости.
7. Распространение волны в среде без потерь. Вектор Пойтинга. Влияние потерь в среде на распространение электромагнитных волн.
8. Электромагнитные волны в неоднородных и анизотропных средах.
9. Взаимодействие электромагнитных волн с границей раздела сред.

10. Основные технические характеристики сигнальных трактов радиоэлектронной аппаратуры.
11. Коэффициент шума, гармонические и интермодуляционные искажения, динамический диапазон многокаскадных схем.
12. Критерии и способы согласования сопротивлений.
13. Принципы оптимального приема сигналов.
14. Методы обнаружения полностью известного и частично известного сигналов.
15. Коррелятор и оптимальная согласованная фильтрация.
16. Оценка параметров сигнала методом максимального правдоподобия. Свойства оценок. Граница Крамера-Рао.
17. Оценка амплитуды и фазы сигнала, свойства оценок, граница Крамера-Рао.
18. Оценка временного положения сигнала. Временное разрешение.
19. Дальность действия радиолокационных систем в свободном пространстве. Влияние условий распространения на дальность действия радиосистем.
20. Принципы работы импульсно-доплеровских РЛС.
21. Радиотехнические методы измерения угловых координат. Точность и разрешающая способность при измерении угловых координат.
22. Принципы пространственно-временной обработки сигналов. Пространственные фильтры и пространственные корреляторы.
23. Реализация пространственных фильтров и пространственных корреляторов с помощью ФАР.
24. Принципы работы систем местоопределения. Системы ГЛОНАСС и GPS.

Примеры билетов для проведения экзамена:

Билет 1.

1. Типы и классификация радиотехнических систем.
2. Принципы работы систем местоопределения. Системы ГЛОНАСС и GPS.

Билет 2.

1. Электромагнитное поле диполя Герца, поведение поля в ближней и дальней зонах.
2. Реализация пространственных фильтров и пространственных корреляторов с помощью ФАР.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Экзамен проводится в устной форме.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 1 час на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамен обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.