

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Таюрский Д.А.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**  
Статистическая радиофизика Б1.Б.29

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Радиофизические методы по областям применения (Радиофизические измерения)

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Масленникова Ю.С. , Нугманов И.С.

**Рецензент(ы):**

Шерстюков О.Н.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Шерстюков О. Н.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No

Казань  
2018

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. Масленникова Ю.С. Кафедра радиофизики Отделение радиофизики и информационных систем , yuliams1@gmail.com ; Нугманов И.С.

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины (модуля) "Статистическая радиофизика" являются изучение и освоение новых теорий и моделей, связанных со случайными сигналами, применяемых в радиофизике; построение математических моделей процедур обработки сигналов; применение современных алгоритмов для обработки результатов эксперимента, использование новых информационных технологий, слежение за научной периодикой.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.Б.29 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.03.03 Радиофизика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 4 курсе, 7 семестр.

Б.10, Профессиональный цикл. Модуль "Статистическая радиофизика" использует материалы модулей: математический анализ (Б2.Б.6), дифференциальные уравнения (Б2.Б.10), теория вероятностей и математическая статистика (Б2.Б.11), основы радиоэлектроники (Б3.Б.11), радиофизика и электроника ( спецпрактикум по радиофизике) (Б3.В.4) .

Студент должен знать математический анализ, физику, теорию вероятностей, радиоэлектронику в объёме читаемых курсов в Институте физики.

В дальнейшем материалы модуля "Статистическая радиофизика" используется в модулях: радиотелекоммуникационные сети (Б3.В.11), адаптивные радиосистемы (Б3.ДВ4).

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-12 (общекультурные компетенции)	Способность овладеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией.
ОК-3 (общекультурные компетенции)	Способность приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии .
ОК-6 (общекультурные компетенции)	Способность добиваться намеченной цели.
ОК-7 (общекультурные компетенции)	Способность критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности.
ПК-1 (профессиональные компетенции)	Способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач.
ПК-10 (профессиональные компетенции)	Способность понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований.

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-2 (профессиональные компетенции)	Способность применять на практике базовые профессиональные навыки.
ПК-6 (профессиональные компетенции)	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза информации (в соответствии с профилем подготовки).

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- области применения разделов модуля "Статистическая радиофизика",
- современные информационные технологии.

2. должен уметь:

- применять на практике знания, полученные по курсу "Статистическая радиофизика",
- применять вероятностный подход к смежным дисциплинам,
- самостоятельно приобретать новые знания в области обработки сигналов.

3. должен владеть:

- математическим аппаратом для самостоятельной разработки новых моделей при радиофизических исследованиях,
- методами радиофизических измерений.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

- решать задачи, связанные с анализом систем, подверженных влиянию шумов,
- составлять математические модели анализируемых систем,
- применять современные информационные технологии.

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных(ые) единиц(ы) 180 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 7 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Случайные процессы и их описание.	7	1,2,3	10	0	12	Устный опрос
2.	Тема 2. Математические модели случайных процессов.	7	4,5	4	0	8	Устный опрос
3.	Тема 3. Математические модели случайных процессов	7	5,6	4	0	4	Устный опрос Контрольная работа
4.	Тема 4. Математические модели случайных процессов	7	7	2	0	4	Устный опрос
5.	Тема 5. Прохождение случайных сигналов через линейные и нелинейные цепи	7	7,8	4	0	4	Устный опрос
6.	Тема 6. Обнаружение сигналов в присутствии шумов.	7	9-12	12	0	18	Устный опрос
7.	Тема 7. Оценка параметров сигналов в присутствии шумов.	7	13	4	0	4	Контрольная работа
8.	Тема 8. Дискретизация и квантование сигналов	7	14	2	0	0	Устный опрос
9.	Тема 9. Мера информации. Методы кодирования источников независимых сообщений. Теорема о кодировании источника независимых сообщений.	7	15	4	0	0	Устный опрос
10.	Тема 10. Канал связи. Пропускная способность и теоремы о пропускной способности канала связи.	7	16-17	4	0	0	Устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
11.	Тема 11. Помехоустойчивое кодирование.	7	18	4	0	0	Устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	Экзамен
	Итого			54	0	54	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Случайные процессы и их описание.

#### **лекционное занятие (10 часа(ов)):**

Определение, классификация, свойства многомерной плотности и функции распределения вероятностей. Моментные и кумулянтные функции. Ковариационная и корреляционная функции. Стационарность в узком и широком смысле. Свойства автоковариационной корреляционной функций. Интервал корреляции. Эргодические процессы. Критерий эргодичности. Определение плотности распределения вероятностей эргодического процесса. Дифференцирование и интегрирование случайных процессов. Спектральный анализ случайных процессов. Ширина спектра.

#### **лабораторная работа (12 часа(ов)):**

Оценка плотности распределения вероятности значений стационарного эргодического случайного процесса. Проверка гипотезы о типе распределения значений случайного процесса

### Тема 2. Математические модели случайных процессов.

#### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Математические модели случайных процессов. Детерминированный процесс как случайный процесс. Одномерная и многомерная плотности распределения вероятности. Белый шум (Корреляционная функция). Спектральная плотность мощности, Гауссовские случайные процессы и их свойства. Каноническое разложение случайного процесса. Квазидетерминированный случайный процесс

#### **лабораторная работа (8 часа(ов)):**

Моделирование стационарных случайных процессов и исследование их законов распределения вероятности

### Тема 3. Математические модели случайных процессов

#### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Сумма двух квазидетерминированных процессов. Марковские случайные процессы Уравнение Маркова для непрерывных и дискретных процессов. Уравнение Фоккера-Планка. Винеровский случайный процесс.

#### **лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Моделирование и исследование марковских случайных процессов

### Тема 4. Математические модели случайных процессов

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Узкополосный процесс. Плотность распределения вероятностей огибающей и фазы узкополосного случайного процесса

#### **лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Теорема Котельникова в применении к смеси сигнала и шума

### Тема 5. Прохождение случайных сигналов через линейные и нелинейные цепи

#### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Линейные и нелинейные безынерционные преобразования случайных процессов. Применение дифференциальных уравнений и импульсных и характеристик. . Применение частотных характеристик. Нелинейные безынерционные преобразования случайных процессов.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Исследование влияния характеристик цепей на корреляционную функцию и спектральную плотность мощности сигналов на выходе цепи

**Тема 6. Обнаружение сигналов в присутствии шумов.**

**лекционное занятие (12 часа(ов)):**

Обнаружение и оценка параметров сигналов в присутствии шумов. Проверка статистических гипотез Критерии проверки двух альтернативных гипотез Функционал правдоподобия. Оценка временного положения сигнала. Корреляционный приемник, согласованный фильтр.

**лабораторная работа (18 часа(ов)):**

Обнаружение сигналов. Применение критериев обнаружения для полностью известного сигнала и сигнала со случайной фазой.

**Тема 7. Оценка параметров сигналов в присутствии шумов.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Интервальная и точечная оценка параметров сигналов. Методы оценок параметров сигнала. Неравенство Рао-Крамера.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Согласованный фильтр, оценка параметров сигнала на фоне помех

**Тема 8. Дискретизация и квантование сигналов**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Кодирование и передача информации по каналу связи. Теорема Котельникова. Квантование сигнала.

**Тема 9. Мера информации. Методы кодирования источников независимых сообщений. Теорема о кодировании источника независимых сообщений.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Мера информации по Фишеру, по Хартли, по Шеннону. Кодирование источника независимых сообщений. Теорема Шеннона о кодировании источника независимых сообщений.

**Тема 10. Канал связи. Пропускная способность и теоремы о пропускной способности канала связи.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Канал связи. Пропускная способность и теорема Шеннона для канала без шумов, теорема Шеннона для канала с шумами. Теорема Шеннона о пропускной способности канала для сигнала и шума, ограниченных по мощности. Пропускная способность частотно-ограниченного канала связи.

**Тема 11. Помехоустойчивое кодирование.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Помехоустойчивое кодирование. Систематические коды Циклические коды.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Случайные процессы и их описание.	7	1,2,3	подготовка к устному опросу	6	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
2.	Тема 2. Математические модели случайных процессов.	7	4,5	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
3.	Тема 3. Математические модели случайных процессов	7	5,6	подготовка к контрольной работе	2	контрольная работа
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
4.	Тема 4. Математические модели случайных процессов	7	7	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
5.	Тема 5. Прохождение случайных сигналов через линейные и нелинейные цепи	7	7,8	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
6.	Тема 6. Обнаружение сигналов в присутствии шумов.	7	9-12	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
7.	Тема 7. Оценка параметров сигналов в присутствии шумов.	7	13	подготовка к контрольной работе	2	контрольная работа
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
8.	Тема 8. Дискретизация и квантование сигналов	7	14	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
9.	Тема 9. Мера информации. Методы кодирования источников независимых сообщений. Теорема о кодировании источника независимых сообщений.	7	15	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
10.	Тема 10. Канал связи. Пропускная способность и теоремы о пропускной способности канала связи.	7	16-17	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
11.	Тема 11. Помехоустойчивое кодирование.	7	18	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
	Итого				36	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Используются следующие формы учебной работы: лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа студента (выполнение индивидуальных домашних заданий), консультации.

Лекционные занятия сопровождаются решением задач, что позволяет студентам лучше усвоить материал лекции. Имеются материалы курса лекций и описаний лабораторных работ в электронном виде.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Случайные процессы и их описание.**

устный опрос , примерные вопросы:

Определение, классификация, свойства многомерной плотности и функции распределения вероятностей. Моментные и кумулянтные функции. Ковариационная и корреляционная функции. Стационарность в узком и широком смысле. Свойства автоковариационной корреляционной функций. Интервал корреляции. Эргодические процессы (определение и реализация среднего по времени). Критерий эргодичности. Определение плотности распределения вероятностей эргодического процесса. Дифференцирование и интегрирование случайных процессов. Спектральный анализ случайных процессов. Свойства спектральной плотности мощности стационарного сл. процесса. Преобразования Винера-Хинчина. Ширина спектра.

### **Тема 2. Математические модели случайных процессов.**

устный опрос , примерные вопросы:

Применение дельта-функции для определения плотности распределения вероятности детерминированного процесса. Белый шум, Гауссовские случайные процессы (одномерная и многомерная плотности распределения вероятностей сл. процесса). Каноническое разложение случайного процесса (ковариационная функция, гармоническое разложение) . Квазидетерминированный случайный процесс (одномерная и многомерная плотность распределения вероятности)

### **Тема 3. Математические модели случайных процессов**

контрольная работа , примерные вопросы:

1. Проверить, является ли сумма эргодического процесса, константы и случайной величины эргодическим процессом. 2. Рассчитать параметры нормального и биномиального законов распределения вероятностей.

устный опрос , примерные вопросы:

Сумма двух квазидетерминированных процессов. Условие стационарности в широком смысле . Уравнение Маркова для непрерывных и дискретных процессов. Уравнение Фоккера-Планка (уравнение диффузии). Винеровский случайный процесс (математическое ожидание и дисперсия).

### **Тема 4. Математические модели случайных процессов**

устный опрос , примерные вопросы:

Узкополосный процесс (автокорреляционная функция, узкополосный процесс как гармоническое колебание со случайной амплитудой и случайной фазой, распределение вероятностей амплитуды и фазы узкополосного случайного процесса).

### **Тема 5. Прохождение случайных сигналов через линейные и нелинейные цепи**

устный опрос , примерные вопросы:

Линейные и нелинейные безынерционные преобразования случайных процессов. Применение дифференциальных уравнений, импульсных и частотных характеристик. Ковариационная функция и спектральная плотность мощности на выходе линейной системы. Нелинейные безынерционные преобразования случайных процессов.

### **Тема 6. Обнаружение сигналов в присутствии шумов.**

устный опрос , примерные вопросы:

Описание сигнала и помехи. Проверка статистических гипотез (выборочное пространство, функция правдоподобия, гипотезы простые и сложные, правила решения, вероятности ошибок, критерий качества принятия решения, матрица потерь, условный риск, средний риск).

Проверка двух альтернативных гипотез (критерий Байеса, минимаксный критерий, критерий максимума апостериорной вероятности, критерий максимума правдоподобия, критерий Неймана-Пирсона, последовательный анализ Вальда, рабочая характеристика). Функционал правдоподобия. Применение функционала правдоподобия для обнаружения полностью известного сигнала и сигнала со случайной фазой. Оценка временного положения сигнала (сигнальная и шумовая функции, определение сигнальной функции для прямоугольного видеосигнала, обработка пачки сигналов). Корреляционный приемник, согласованный фильтр.

### **Тема 7. Оценка параметров сигналов в присутствии шумов.**

контрольная работа , примерные вопросы:

1. Рассчитать спектральную плотность мощности шума на выходе линейной цепи с заданной частотной характеристикой. 2. Рассчитать вероятность ошибки первого рода для системы обнаружения с полностью известными параметрами

устный опрос , примерные вопросы:

Интервальная и точечная оценка параметров сигналов. Свойства точечной оценки (состоятельность, несмещённость, эффективность, достаточность). Критерии оценок параметров сигнала (минимум СКО, максимум апостериорной вероятности, максимум функции правдоподобия). Неравенство Рао-Крамера. Оценка математического ожидания и дисперсии нормального распределения.

### **Тема 8. Дискретизация и квантование сигналов**

устный опрос , примерные вопросы:

Выбор уровня квантования . Дискретизация случайных сигналов. Применение теоремы Котельникова к случайным сигналам.

### **Тема 9. Мера информации. Методы кодирования источников независимых сообщений. Теорема о кодировании источника независимых сообщений.**

устный опрос , примерные вопросы:

Мера информации по Фишеру, по Хартли, по Шеннону (определение, энтропия и её свойства, энтропия произведения ансамблей, энтропия непрерывного ансамбля, количество взаимной информации). Теорема Шеннона о кодировании источника независимых сообщений.

### **Тема 10. Канал связи. Пропускная способность и теоремы о пропускной способности канала связи.**

устный опрос , примерные вопросы:

Классификация каналов связи, Определение пропускной способности, пропускная способность для канала без шумов, теорема Шеннона для канала без шумов, теорема Шеннона для канала с шумами, двоичный симметричный канал

### **Тема 11. Помехоустойчивое кодирование.**

устный опрос , примерные вопросы:

Классификация кодов. Систематические коды (принцип построения , порождающая матрица, исправление одиночной ошибки). Циклические коды (образующий полином, неприводимый полином, метод образования циклического кода, пример кодирования и исправления одиночной ошибки).

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Кодирование источника независимых сообщений (кодирование по методу Шеннона, кодирование по методу Хаффмана). Канал связи.

Непрерывный по ансамблю канал связи. Теорема Шеннона о пропускной способности канала для сигнала и шума, ограниченных по мощности. Частотно-ограниченный канал. Сигнал и шум, ограниченные по частоте и во времени. Пропускная способность частотно-ограниченного канала связи. Помехоустойчивое кодирование.

### 7.1. Основная литература:

1. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Статистическая радиофизика и оптика, [Электронный ресурс] Физматлит, 2010 - : 423 с. - ISBN: 978-5-9221-1204-8 Режим доступа: - [http:// e.lanbook.com/view/book/48263/](http://e.lanbook.com/view/book/48263/)
2. Подлесный, С. А., Зандер Устройства приема и обработки сигналов [Электронный ресурс] : - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011. - 352 с. - ISBN 978-5-7638-2263-2. Режим доступа: - <http://znanium.com/bookread.php?book=441113>
3. Ботов, М. И., Вяхирев В. А., Девогач В. В. Введение в теорию радиолокационных систем [Электронный ресурс] : монография / М. И. Ботов, В. А. Вяхирев, В. В. Девогач; ред. М. И. Ботов. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - 394 с. - ISBN 978-5-7638-2740-8. Режим доступа: - <http://znanium.com/bookread.php?book=492976>

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Основы кодирования : Учеб. для вузов : Учеб. для студентов, обучающихся по направлению "Приклад. математика и физика" / М. Вернер ; [Пер. с нем. Д.К. Зигангирова] .? М. : Техносфера, 2004 .? 286с. : ил .? (Мир программирования) .? Библиогр.: с.281-283 .? Предм. указ.: с.284-286 .? ISBN 5-94836-019-9 .? ISBN 3-528-03951-5 ((нем.))
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Высшая школа, 1988. - 448 с.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

- В.Н. Тихонов, В.Н. Харисов. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем - М.: Радио и связь, 2004 - <http://WWW.bookinist.net>
- М. Вернер. Основы кодирования. М.: Техносфера, 2006 - <http://www.technosfera.ru>
- Р. Морелос-Сарагоса. Искусство помехоустойчивого кодирования. М.: Техносфера, 2006 - <http://WWW.OZON.ru>
- Шахтарин Б. И. Обнаружение сигналов. М.: Гелиос АРВ,2006 - <http://www.ozon.ru>
- Шахтарин Б. И. Случайные процессы в радиотехнике. М.: Гелиос АРВ,2006 - <http://WWW.livelib.ru/book>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Статистическая радиофизика" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Создана лаборатория по курсу "Статистическая радиофизика"

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.03.03 "Радиофизика" и профилю подготовки Радиотехнические методы по областям применения (Радиотехнические измерения) .

Автор(ы):

Нугманов И.С. \_\_\_\_\_

Масленникова Ю.С. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Шерстюков О.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.