

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Смоленский государственный университет»

Кафедра физики и технических дисциплин

*«Утверждаю»*  
Проректор по учебно-методической работе  
\_\_\_\_\_ Ю.А. Устименко  
«09» сентября 2021г.

**Рабочая программа дисциплины  
Б1.В.02 Статистическая радиотехника**

Направление подготовки: **11.03.01 Радиотехника**  
Направленность (профиль): **Радиоэлектронные системы и комплексы**  
Форма обучения: очная  
Курс – 3  
Семестр – 5  
Всего зачетных единиц – 4; часов – 144  
Форма отчетности: зачет – 5 семестр

Программу разработал: доктор технических наук, доцент Ю.И. Савинов

Одобрена на заседании кафедры  
«02» сентября 2021 г., протокол № 1

Смоленск  
2021

## 1. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Статистическая радиотехника» включена в часть, формируемую участниками образовательных отношений, основной образовательной программы по направлению подготовки 11.03.01 Радиотехника (направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы).

Для освоения дисциплины «Статистическая радиотехника» студент должен обладать базовыми знаниями, умениями и навыками, полученными в результате изучения курса дисциплин: «Математический анализ», «Физика», «Инженерная и компьютерная графика», «Радиоматериалы и радиокомпоненты», «Теория вероятностей и математическая статистика».

В результате изучения дисциплины студент должен овладеть методологией синтеза и анализа качественных показателей оптимальных устройств обнаружения, различения и оценки параметров сигналов, входящих в состав радиолокационных и радионавигационных систем и комплексов, систем передачи информации.

В результате изучения дисциплины «Статистическая радиотехника» студенты приобретают знания, умения и навыки, необходимые для успешного освоения следующих дисциплин профессионального цикла «Цифровая обработка сигналов», «Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индикаторы достижения
<b>ПК-1.</b> Способен выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ	<b>Знать:</b> основные методы и типовые методики математического моделирования объектов и процессов <b>Уметь:</b> строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков радиотехнических устройств и систем <b>Владеть:</b> навыками компьютерного моделирования
<b>ПК-3.</b> Способен выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и устройств радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	<b>Знать:</b> принципы конструирования отдельных деталей, узлов и устройств радиотехнических систем <b>Уметь:</b> проводить оценочные расчеты характеристик деталей, узлов и устройств радиотехнических систем <b>Владеть:</b> навыками подготовки принципиальных и монтажных электрических схем
<b>ПК-4.</b> Способен осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам	<b>Знать:</b> принципы построения технического задания при разработке деталей, узлов и устройств радиотехнических систем <b>Уметь:</b> использовать нормативные и справочные данные при разработке проектно-конструкторской документации <b>Владеть:</b> навыками оформления проектно-конструкторской документации в соответствии со стандартами

## 3. Содержание дисциплины

### Основы теории случайных процессов.

*Случайные процессы, их типы. Функции распределения СП.* Основные понятия о статистической радиотехнике. Определения статистической радиотехники. Основные формулы теории вероятности в статистической радиотехнике. Случайные процессы, законы распределения случайных процессов. Функции и плотности распределения случайных процессов в радиотехнике.

*Вероятные характеристики (моменты) распределения СП. Математическое ожидание, дисперсия СП. Числовые характеристики (моментные функции) случайных процессов. Стационарные случайные процессы и их свойства. Временные характеристики реализаций случайных процессов и их физический смысл. Эргодические случайные процессы.*

*Энергетические характеристики случайных процессов. Корреляционная функция (КФ) стационарного процесса, энергетический спектр. Энергетический спектр и корреляционная функция эргодического случайного процесса. Теорема Хинчина-Виинера. Ширина энергетического спектра и интервал корреляции. Примеры их вычисления. Широкополосные и узкополосные случайные процессы. Белый шум. Корреляционная функция узкополосного случайного процесса.*

*Статистическое определение характеристик случайных процессов. Определений одномерной и двумерной плотности распределения вероятностей процесса. Определение одномерной характеристической функции гауссовского процесса  $\xi(t)$ , имеющего известную плотность распределения вероятностей. Определение спектральной плотности центрированного случайного процесса, с заданной корреляционной функцией  $R(\tau)$ .*

#### **Методы аппаратного анализа характеристик случайных процессов.**

*Понятия об аналоговых и цифровых методах. Методы и средства аппаратного анализа характеристик случайных процессов. Метод непосредственной фильтрации. Метод основанный на преобразовании Фурье. Цифровой метод, основанный на алгоритме быстрого преобразования Фурье.*

*Измерение среднего значения, плотности вероятности случайного процесса, корреляционной функции, энергетического спектра. Корреляционно-фильтровый метод измерения оценки плотности вероятности энергетического спектра. Исследование аналогового корреляционно-фильтрового анализатора спектра. Измерение параметров случайных процессов. Сравнительный анализ методов измерения вероятности случайного процесса.*

*Примеры реализации. Выбор времени анализа и объема выборки. Выполнение сравнительной оценки вариантов реализации методов и средства аппаратного анализа характеристик случайных процессов. Оптимизация времени анализа и объемов выборки цифровых методов аппаратного анализа случайных процессов.*

*Основные методические погрешности измерения. Определение погрешности средств аппаратного анализа характеристик случайных процессов. Сравнительная оценка погрешности аналоговых и цифровых методов аппаратного анализа характеристик случайных процессов.*

#### **Фильтрация случайных сигналов.**

*Общая характеристика задач фильтрации. Постановка задачи фильтрации случайных сигналов в радиотехнических устройствах. Классификация фильтров радиотехнических сигналов. Импульсная и комплексная частотная характеристики фильтров. Примеры реализации аналоговых и цифровых фильтров случайных сигналов.*

*Оптимальная линейная фильтрация по критерию минимума среднеквадратической ошибки (минимума искажений полезного сигнала). Спектрально-корреляционная характеристики случайного процесса на выходе линейного фильтра с постоянными параметрами. Оптимизация параметров фильтра для линейной фильтрации случайного сигнала по критерию минимума среднеквадратической ошибки.*

*Фильтрация по критерию максимума отношения «сигнал-шум» (согласованные фильтры). Синтез и исследование согласованных фильтров по критерию максимума полезного сигнала на выходе фильтра. Синтез и исследование оптимальных фильтров по критерию максимума отношения «сигнал-шум».*

*Свойства согласованных фильтров, примеры реализации. Оценка свойств согласованных фильтров. Исследование амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик согласованных фильтров. Переход от комплексной частотной характеристики к импульсной характеристике фильтра. Цифровые согласованные фильтры.*



## Основы статистической теории обнаружения

*Обнаружение радиосигналов. Классификация задач обнаружения. Обзор по дальности. Показатели качества процедуры обнаружения. Показатели качества и правило оптимального обнаружения. Классификация задач обнаружения.*

*Критерий оптимальности обнаружения Байеса. Показатели качества и правило оптимального обнаружения. Критерии оптимальности обнаружения. Критерий оптимальности обнаружения Байеса.*

*Отношение правдоподобия. Отношение правдоподобия, достаточная статистика и критерий оптимального обнаружения. Корреляционная функция и корреляционный интеграл отношения «сигнал-шум». Обобщенная структурная схема корреляционного обнаружителя. Вычисление отношения правдоподобия корреляционного обнаружителя сигналов.*

*Двумерная корреляционная функция. Принцип неопределенности в радиолокации. Совместное разрешение по радиолокационным координатам. Двумерная корреляционная функция. Принцип неопределенности в радиолокации. Расчет совместной разрешающей способности радиолокатора.*

*Оценка параметров радиосигналов. Функция риска. Измерители параметров радиосигналов в радиотехнических системах. Ошибки измерения параметров радиосигналов. Оценка влияния отношения «сигнал-шум» на точность измерения радиосигналов.*

### 4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий		
			Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
<b>1.</b>	<b>Основы теории случайных процессов.</b>	<b>24</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>12</b>
1.1	Случайные процессы, их типы. Функции распределения СП.	4	2	–	2
1.2	Вероятные характеристики (моменты) распределения СП. Математическое ожидание, дисперсия СП.	8	4	–	4
1.3	Энергетические характеристики случайных процессов. Корреляционная функция (КФ) стационарного процесса, энергетический спектр.	4	2	–	2
1.4	Статистическое определение характеристик случайных процессов.	8	–	4	4
<b>2.</b>	<b>Методы аппаратного анализа характеристик случайных процессов.</b>	<b>38</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>22</b>
2.1	Понятия об аналоговых и цифровых методах	6	2	–	4
2.2	Измерение среднего значения, плотности вероятности случайного процесса, корреляционной функции, энергетического спектра. Требования к аппаратуре.	16	2	6	8
2.3	Примеры реализации. Выбор времени анализа и объема выборки	10	–	4	6
2.4	Основные методические погрешности измерения.	6	2	–	4
<b>3.</b>	<b>Фильтрация случайных сигналов.</b>	<b>42</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>24</b>
3.1	Общая характеристика задач фильтрации.	10	4	–	6

3.2	Оптимальная линейная фильтрация по критерию минимума среднеквадратической ошибки.	10	4	–	6
3.3	Фильтрация по критерию максимума отношения «сигнал-шум».	12	2	4	6
3.4	Свойства согласованных фильтров, примеры реализации	10	–	4	6
<b>4.</b>	<b>Основы статистической теории обнаружения</b>	<b>40</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>22</b>
4.1	Обнаружение радиосигналов. Классификация задач обнаружения.	8	4	–	4
4.2	Критерий оптимальности обнаружения Байеса.	4	2	–	2
4.3	Отношение правдоподобия.	10	–	4	6
4.4	Двумерная корреляционная функция. Принцип неопределенности в радиолокации.	14	–	6	8
4.5	Оценка параметров радиосигналов. Функция риска.	4	2	–	2
<b>ИТОГО</b>		<b>144</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>80</b>

## 5. Виды учебной деятельности

### Занятия лекционного типа

**Лекция № 1.** *Случайные процессы, их типы. Функции распределения СП.* Предмет, цели, задачи дисциплины. Основные формулы теории вероятности в статистической радиотехнике. Случайные процессы, законы распределения случайных процессов. Функции и плотности распределения случайных процессов в радиотехнике.

**Лекция № 2,3.** *Вероятные характеристики (моменты) распределения СП. Математическое ожидание, дисперсия СП.* Временные характеристики реализаций случайных процессов и их физический смысл. Эргодические случайные процессы.

**Лекция № 4.** *Энергетические характеристики случайных процессов. Корреляционная функция (КФ) стационарного процесса, энергетический спектр.* Энергетический спектр и корреляционная функция эргодического случайного процесса. Теорема Хинчина-Виинера. Ширина энергетического спектра и интервал корреляции. Примеры их вычисления. Широкополосные и узкополосные случайные процессы. Белый шум. Корреляционная функция узкополосного случайного процесса.

**Лекция № 5.** *Понятия об аналоговых и цифровых методах.* Методы и средства аппаратного анализа характеристик случайных процессов. Метод непосредственной фильтрации.

**Лекция №6.** *Измерение среднего значения, плотности вероятности случайного процесса, корреляционной функции, энергетического спектра. Требования к аппаратуре.* Корреляционно-фильтровый метод измерения оценки плотности вероятности энергетического спектра. Исследование аналогового корреляционно-фильтрового анализатора спектра. Измерение параметров случайных процессов. Сравнительный анализ методов измерения вероятности случайного процесса.

**Лекция №7.** *Основные методические погрешности измерения.* Определение погрешности средств аппаратного анализа характеристик случайных процессов. Сравнительная оценка погрешности аналоговых и цифровых методов аппаратного анализа характеристик случайных процессов.

**Лекция №8,9.** *Общая характеристика задач фильтрации.* Постановка задачи фильтрации случайных сигналов в радиотехнических устройствах. Классификация фильтров

радиотехнических сигналов. Импульсная и комплексная частотная характеристики фильтров. Примеры реализации аналоговых и цифровых фильтров случайных сигналов.

**Лекция №10,11.** *Оптимальная линейная фильтрация по критерию минимума среднеквадратической ошибки (минимума искажений полезного сигнала).* Спектрально-корреляционные характеристики случайного процесса на выходе линейного фильтра с постоянными параметрами. Оптимизация параметров фильтра для линейной фильтрации случайного сигнала по критерию минимума среднеквадратической ошибки.

**Лекция №12.** *Фильтрация по критерию максимума отношения «сигнал-шум» (согласованные фильтры).* Синтез и исследование согласованных фильтров по критерию максимума полезного сигнала на выходе фильтра. Синтез и исследование оптимальных фильтров по критерию максимума отношения «сигнал-шум».

**Лекция №13,14.** *Обнаружение радиосигналов. Классификация задач обнаружения.* Обзор по дальности. Показатели качества процедуры обнаружения. Показатели качества и правило оптимального обнаружения. Классификация задач обнаружения.

**Лекция №15.** *Критерий оптимальности обнаружения Байеса.* Показатели качества и правило оптимального обнаружения. Критерии оптимальности обнаружения. Критерий оптимальности обнаружения Байеса.

**Лекция №16.** *Оценка параметров радиосигналов. Функция риска.* Измерители параметров радиосигналов в радиотехнических системах. Ошибки измерения параметров радиосигналов. Оценка влияния отношения «сигнал-шум» на точность измерения радиосигналов.

### **Занятия семинарского типа (практические занятия)**

**Практическое занятие №1.** *Статистическое определение характеристик случайных процессов (4 часа)*

#### **Вопросы для подготовки к занятию:**

1. Найти математическое ожидание и дисперсию показательного распределения  $w(x) = \lambda \exp(-\lambda x)$ ,  $x > 0$ .
2. Плотность показательного распределения имеет вид  $w(x) = C \exp(-\lambda x)$ ,  $x > 0$ . Найти постоянную  $C$ .
3. Найти корреляционную функцию случайного процесса, имеющего спектральную плотность  $S(\omega) = A \exp(-\alpha 2\omega^2)$ .

#### **Задания:**

**Задание 1.** Найти одномерную и двумерную плотности распределения вероятностей процесса  $\xi(t) = \alpha \cos \omega t + \beta \sin \omega t$ , где  $\omega = \text{const}$ ;  $\alpha$  и  $\beta$  – взаимно независимые гауссовские величины с нулевыми математическими ожиданиями и дисперсиями  $D\alpha = D\beta = \sigma^2$ .

**Задание 2.** Пусть  $\xi(t)$  и  $\eta(t)$  – гауссовские некоррелированные случайные процессы с математическими ожиданиями  $m_\xi$  и  $m_\eta$  и дисперсиями  $\sigma_\xi^2$  и  $\sigma_\eta^2$ . Записать совместную плотность распределения вероятностей  $w_2(x, y)$ .

**Задание 3.** Доказать, что параметры  $m$  и  $\sigma$  плотности гауссовского распределения являются математическим ожиданием и средним квадратическим отклонением.

**Задание 4.** Найти спектральную плотность центрированного случайного процесса, корреляционная функция которого определяется как  $R(\tau) = B \exp(-\alpha|\tau|)$ .

**Практическое занятие №2.** *Измерение среднего значения, плотности вероятности случайного процесса, корреляционной функции, энергетического спектра (6 часов)*

#### **Вопросы для подготовки к занятию:**

1. Физический смысл математического ожидания плотности вероятности случайного процесса.
2. В каких единицах измеряется спектральная плотность энергии случайного процесса.
3. Как называется величина равная квадрату среднего квадратического отклонения.
4. Математическая модель нормального закона распределения.

5. Чему равна вероятность попадания случайной величины на бесконечно большой интервал?

**Задания:**

**Задание 1.** Экспериментальное определение одномерных плотностей вероятностей случайных процессов.

**Задание 2.** Исследование эффекта нормализации случайного процесса.

**Задание 3.** Экспериментальное определение плотности вероятностей процесса, представляющего собой сумму гармонического сигнала с равномерно распределенной фазой и нормального случайного процесса.

**Задание 4.** Дано дискретное распределение случайной величины. Найти математическое ожидание  $m_{\xi}$ , дисперсию  $\sigma^2_{\xi}$ , вероятность того, что случайная величина больше или равна  $m_{\xi}$ .

**Практическое занятие №3. Примеры реализации. Выбор времени анализа и объема выборки (4 часа)**

**Вопросы для подготовки к занятию:**

1. Как на практике измерить (оценить) вероятность какого-либо случайного события?
2. Определение функции распределения и плотности распределения случайной величины.
3. Записать плотность распределения равномерно распределенной в интервале от  $x_1$  до  $x_2$  случайной величины  $x$ . Изобразить ее график.
4. Записать плотность распределения величины, распределенной по нормальному закону с дисперсией  $\sigma^2$  и математическим ожиданием  $m$ .
5. Записать выражение для вычисления математического ожидания случайной величины с известной функцией распределения.
6. Записать выражение для вычисления дисперсии (центрального момента второго порядка) случайной величины с известной функцией распределения.

**Задания:**

**Задание 1.** Ошибка измерения дальности до цели с помощью РЛС распределена по гауссовскому закону со средним квадратическим отклонением 15 м и нулевым средним значением. Найти вероятность того, что ошибка измерения по модулю не превысит 20 м.

**Задание 2.** Определить числовые характеристики достаточной статистики и порогового уровня  $h$ .

**Задание 3.** Записать выражение для комплексной частотной характеристики согласованного фильтра и начертить его функциональную схему. Сигнал представляет собой одиночный прямоугольный видеоимпульс с длительностью  $\tau$ .

**Практическое занятие №4. Фильтрация по критерию максимума отношения «сигнал-шум» (4 часа).**

**Вопросы для подготовки к занятию:**

1. Переход от представления радиотехнических во временной форме к частотной.
2. Определение импульсной частотной характеристики фильтра.
3. Что представляет собой прямое преобразование Фурье импульсной характеристики фильтра.
4. Модуль и аргумент комплексного спектра амплитуд радиотехнического сигнала.

**Задания:**

**Задание 1.** В среде ElectronicsWorkbench создать схему для измерения функций корреляции случайных процессов на выходе линейных цепей и определить ее характеристики.

**Задание 2.** Для сигналов с математической моделью во временной области в виде периодической последовательности прямоугольных радиоимпульсов длительностью  $\tau_n$  равной  $1+n*0.1$  секунды, и амплитудой  $A$  равной  $5+n*0.1$ , несущей частотой  $10+n$  Гц, начальной фазой  $10*n$  градусов и периодом следования  $T$  равным  $4 + 0,2*n$  секунды



построить амплитудно-частотный и фазочастотный спектры сигнала и по известной комплексной частотной характеристике фильтра найти его отклик.

**Задание 3.** Для одиночного линейно-частотно модулированного сигнала длительностью  $T_n$  равной  $1+n*0.1$  миллисекунды, и амплитудой Аравной  $5+n*0.1$  В, несущей частотой  $10+1*nкГц$  и девиацией частот  $\Delta f$  равной  $1+0.1*nкГц$  построить амплитудно-частотный и фазочастотный спектры сигнала и найти его импульсную характеристику.

**Практическое занятие № 5. Свойства согласованных фильтров, примеры реализации (4 часа)**

**Вопросы для подготовки к занятию:**

1. Критерии согласования параметров радиотехнических сигналов с характеристиками фильтров.
2. Как называется отклик фильтра на воздействие в виде функции Дирака.
3. Типовые воздействия на электрические фильтры.
4. Единица системы СИ для определения спектральной плотности спектра мощностей.
5. Как называется модуль комплексной частотной характеристики.

**Задания:**

1. Анализа фильтрового обнаружителя прямоугольного радиоимпульса на модели резонансного усилителя в среде ElectronicsWorkbench.

**Практическое занятие № 6. Отношение правдоподобия (4 часа).**

**Вопросы для подготовки к занятию:**

1. Как определяется спектр случайных процессов? Есть ли отличия спектров случайных процессов и спектров детерминированных сигналов?
2. Сформулируйте и поясните теорему Винера-Хинчина.
3. Возможна ли такая ситуация, когда два случайных процесса имеют одинаковые одномерные плотности вероятностей и разные функции корреляции?
4. Возможна ли такая ситуация, когда два случайных процесса имеют одинаковые двумерные плотности вероятностей и разные функции корреляции?

**Задания:**

**Задание 1.** Записать выражение для комплексной частотной характеристики согласованного фильтра и начертить его функциональную схему. Сигнал представляет собой одиночный прямоугольный видеоимпульс с длительностью  $\tau$ .

**Задание 2.** На вход оптимального в смысле максимума правдоподобия измерителя поступает аддитивная смесь белого шума со спектральной плотностью  $2/N_0$  и детерминированного радиоимпульса  $(s, \phi) = a \sin(\omega t + \phi)$ , и  $0 \leq t \leq \tau$ , где  $a$  и  $\omega$  – соответственно амплитуда и частота радиоимпульса; и  $\tau$  – длительность радиоимпульса;  $\lambda = \phi$  – начальная фаза радиосигнала, подлежащая оценке. Определить дисперсию оценки начальной фазы радиоимпульса.

**Задание 3.** Оптимальный различитель по критерию идеального наблюдателя применяется в дискретной двоичной системе радиосвязи с использованием АМн-сигналов, когда наличие сигнала ( $s_1$ ) соответствует получению «1», а отсутствие сигнала – получению «0». Рассчитать числовые характеристики достаточной статистики, построить в масштабе её условные плотности вероятности, на этом графике указать пороговый уровень и вероятность ошибки Рош, если различение проводится на фоне белого шума с  $10 \text{ В}$  с  $10^2 \text{ 0} = \cdot - N$ , а сигналом является детерминированный радиоимпульс ( $s_1$ )  $U_m(t) = \cos \omega t$ , и  $0 \leq t \leq \tau$ , где  $U_m = 1 \text{ мВ}$ ,  $\tau = 1 \text{ мс}$  и  $\cdot$ . При этом появление «1» и «0» равновероятно.

**Практическое занятие № 7. Двумерная корреляционная функция. Принцип неопределенности в радиолокации (6 часов)**

**Вопросы для подготовки к занятию**

1. Дайте математическое определение функции корреляции и объясните ее физический смысл.
2. Перечислите и поясните свойства функции корреляции.

3. Поясните, как можно определить функцию корреляции для эргодического процесса.
4. Нарисуйте структурную схему экспериментальной установки для определения функции корреляции и поясните, для каких процессов ее применение справедливо.

**Задания:**

**Задание 1.** В среде моделирования ElectronicsWorkbench собрать схему устройства корреляционной обработки с заданными параметрами.

**Самостоятельная работа**

**1) Подготовка к практическим занятиям** включает в себя подготовку ответов на теоретические вопросы к практическим занятиям и самостоятельное выполнение заданий по теме занятия (приведены в планах практических занятий).

*Методические рекомендации для студентов по подготовке к практическому занятию.* Подготовка к практическим занятиям предполагает подготовку студентом ответов на теоретические вопросы и выполнение практических заданий для самостоятельной работы (решение задач по теме занятия). Перечень вопросов для подготовки к занятию и задания для самостоятельной работы приведены в планах практических занятий. Выполнение студентами данного вида самостоятельной работы проверяется преподавателем на соответствующем практическом занятии.

1) Изучите материал, соответствующий теме практического занятия, по конспекту соответствующей лекции и одному из учебников, предложенному в списке основной литературы.

2) Найдите в тексте учебника и конспекте лекций ответы на вопросы для подготовки к занятию. Рекомендуется составить краткий конспект по каждому из вопросов.

3) Выучите основные понятия и определения, законы и формулы, соответствующие теме практического занятия.

4) Выполните практические задания, предложенные для самостоятельной работы по теме данного занятия.

*Методические рекомендации студенту по самостоятельному выполнению заданий.* Перед выполнением заданий студенту рекомендуется познакомиться с необходимыми физическими теориями и законами, используя материалы лекций (групповых занятий), а также источники из списка основной и дополнительной литературы, ресурсы сети «Интернет».

Выполнение каждого задания должно содержать следующие пункты:

1) Краткая запись условия размещается в левом верхнем углу листа и отделяется от основного решения вертикальной линией. В краткую запись включаются буквенные обозначения величин, заданных по условию задачи, и их количественные значения в единицах СИ. Также в краткую запись условия включаются величины, значения которых необходимо найти по условию для выполнения задания. Неизвестные величины отделяются от известных горизонтальной чертой.

2) Рисунок размещается справа от краткой записи условия. На рисунке необходимо схематически изобразить физическую ситуацию, описываемую в условии задания. Особое внимание следует уделить рисункам к заданиям требующих помимо измерений дополнительных вычислений. По возможности, на рисунке следует указать основные величины, известные по условию задания, а также искомые величины.

3) Анализ условия размещается под рисунком и включает в себя указание тех физических теории и законов, на применении которых основывается выполнение задания. Анализ условия также может включать объяснение явлений и процессов, описываемых в условии задания.

4) Запись необходимых математических соотношений, отражающих физические процессы и законы, используемые при выполнении задания. При записи математических соотношений необходимо следить, чтобы в них входили только известные и искомые физические величины.

5) Решение составленной системы математических уравнений приводится в полном объеме, без сокращений и записей вида «путем несложных математических преобразований получим...».

6) Анализ полученного ответа проводится по нескольким направлениям. Следует проверить единицу измерения полученной величины, проанализировать численное значение на соответствие условию задания и логическую непротиворечивость. После анализа результата, следует записать и проанализировать ответ заданию.

## **2. Вопросы для самоконтроля**

1. Случайные процессы, их типы.
2. Функции распределения СП (интегральная, дифференциальная).
3. Вероятные характеристики (моменты) распределения СП.
4. Математическое ожидание, дисперсия СП.
5. Энергетические характеристики случайных процессов.
6. Корреляционная функция (КФ) стационарного процесса.
7. Энергетический спектр.
8. Статистическое определение характеристик случайных процессов.
9. Понятия об аналоговых и цифровых методах.
10. Измерение среднего значения, плотности вероятности случайного процесса, корреляционной функции, энергетического спектра. Требования к аппаратуре.
11. Примеры реализации. Выбор времени анализа и объема выборки.
12. Основные методические погрешности измерения.
13. Преобразование энергетического спектра при прохождении через линейное звено.
14. Распределение процесса на выходе линейного звена.
15. Прохождение белого шума через дифференцирующее и интегрирующее звенья.
16. Физический смысл условий нормализации.
17. Общая характеристика задач фильтрации.
18. Оптимальная линейная фильтрация по критерию минимума средней ошибки (минимума искажений полезного сигнала).
19. Фильтрация по критерию максимума отношения «сигнал–шум» (согласованные фильтры).
20. Свойства согласованных фильтров, примеры реализации.
21. Обнаружение радиосигналов.
22. Классификация задач обнаружения.
23. Бинарное обнаружение.
24. Критерий оптимальности обнаружения Байеса.
25. Отношение правдоподобия
26. Двумерная корреляционная функция.
27. Принцип неопределенности в радиолокации.
28. Оценка параметров радиосигналов.
29. Функция риска.

## **3. Самостоятельное изучение отдельных вопросов курса**

Часть теоретических вопросов курса выносятся на самостоятельное изучение студентами. При самостоятельном изучении вопроса студент должен познакомиться с содержанием соответствующей темы по одному из учебников, указанных в списке основной литературы, при необходимости могут использоваться источники из списка дополнительной литературы, а также рекомендованные ресурсы сети «Интернет». По каждому вопросу необходимо составить конспект, по возможности включающий следующие пункты:

- краткая история открытия явления, закона, изобретения;
- основные физические законы и теории, на которых основывается объяснение данного явления;
- математическая модель описываемого явления и выводы из нее;

- экспериментальная проверка справедливости теории, модели и выводов из нее;
- практическое применение описываемого явления, процесса.

Конспекты, составленные студентами, проверяются преподавателем во время практических занятий и зачета.

*Перечень вопросов, выносимых на самостоятельное изучение*

1. Дайте определение линейным и нелинейным цепям.
2. Что такое инерционные и безынерционные цепи?
3. Может ли одна и та же цепь в зависимости от характеристик входного случайного процесса рассматриваться как линейная или нелинейная?
4. Может ли одна и та же линейная цепь в зависимости от характеристик входного случайного процесса рассматриваться как инерционная и безынерционная?
5. Какова будет плотность вероятностей на выходе линейной цепи при подаче на ее вход Гауссова случайного процесса?
6. Что такое явление нормализации?
7. Как определяется плотность вероятностей на выходе безынерционной цепи?
8. Определите статистические характеристики процесса на выходе детектора огибающей.
9. Охарактеризуйте детектор огибающей с точки зрения линейности и инерционности.
10. Напишите и поясните связь между спектром случайного процесса на входе линейной цепи и спектром на ее выходе.
11. Напишите и поясните методику определения функции корреляции на выходе линейной цепи.
12. Какой процесс называется узкополосным и как определяется корреляционная функция узкополосного процесса?
13. Напишите и поясните аналитические выражения корреляционных функций случайных процессов на выходе RC-цепи и RLC-контура, если на вход цепей подается «белый» шум.

## 6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

### 6.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущей аттестации

**1. Решение задач на практическом занятии** (перечень задач приведен в планах практических занятий)

Критерии оценивания заданий для самостоятельного решения

Показатель	Количество баллов
1) Приведена краткая форма условия задания, включающая перевод единиц измерения в СИ.	0,5
2) Выполнен рисунок к условию задания, на котором обозначены все необходимые физические величины и математические параметры задания	0,5
3) Проведен анализ исходных данных, включающий указание основных физических явлений, о которых идет речь в задании, а также законов физики, положенных в основу выполнения задания	1
4) Записаны аналитические соотношения, используемых при выполнении задания	1
5) Приведена модель с использованием современных моделирующих комплексов и получен численный ответ на вопрос задания	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 5

Оценка «зачтено» - 3 балла и более; оценка «не зачтено» - менее 3 баллов.

**2. Подготовка конспекта по вопросам курса, выносимым на самостоятельное изучение** (перечень вопросов курса, выносимых на самостоятельное изучение, приведен в разделе «Самостоятельная работа»).

Критерии оценивания конспектов по прикладным вопросам курса, выносимым на самостоятельное изучение

Показатель	Количество баллов
1) Полнота и глубина изложения ответа (усвоенные теории, понятия, факты)	1
2) Логика изложения материала	1
3) Примеры использования описанных явлений, теорий и устройств на практике	1
4) Использование при подготовке ответа на вопрос дополнительных источников информации	1
5) Оформление работы	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 5

Оценка «зачтено» - 3 балла и более; оценка «не зачтено» - менее 3 баллов.

### 3. Проверочная работа

#### Пример задания

**Задача 1.** Имеются две независимые случайные величины  $X$  и  $Y$ . Величина  $X$

$$w(x) = \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \exp\left[-\frac{(x-1)^2}{16}\right]$$

распределена по нормальному закону. Величина  $Y$  равномерно распределена на интервале  $[0;2]$ . Определить математические ожидания разности и произведения случайных величин  $M[X-Y]$  и  $M[XY]$ .

**Задача 2.** Известны математические ожидания  $m_x(t) = 4t + 2$ ,  $m_y(t) = t - 3$  и ковариационные функции  $K_x(t_1, t_2) = 5t_1t_2$ ,  $K_y(t_1, t_2) = 7 \exp(|t_1 - t_2|)$  некоррелированных случайных функций  $X(t)$  и  $Y(t)$ . Найти математическое ожидание, дисперсию, корреляционную, ковариационную и нормированную корреляционную функции  $Z(t) = 2X(t) + 3Y(t)$ .

**Задача 3.** Почему абсолютное значение константы  $a$  в условии  $K_{опт}(\omega) = aS_{ex}(\omega)$ , которое определяет модуль частотной характеристики согласованного фильтра, может быть любым действительным числом ( $a \neq 0$ )?

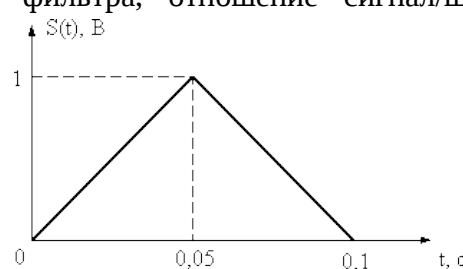
$$s_{ex}(t) = \begin{cases} 2, & 0 \leq t \leq 1 \\ -1, & 1 \leq t \leq 2 \\ 2, & 2 \leq t \leq 3 \end{cases}, \quad B_{\gamma_{ex}}(\tau) = 2\delta(\tau)$$

**Задача 4.** Дано:

Найти: импульсную характеристику согласованного фильтра, отношение сигнал/шум, плотность распределения вероятности шума на выходе согласованного фильтра.

**Задача 5.** Построить байесовский обнаружитель для следующих исходных данных:

- сигнал  $S(t)$  приведен на рисунке;



$$\frac{N_0}{2} = 0,04 \text{ В}^2 / \text{Гц};$$

- спектральная плотность мощности аддитивного белого шума:

- априорные вероятности отсутствия и наличия сигнала относятся как  $p(H_0)/p(H_1) = 0,333$ ,

- значения штрафов:  $\Pi_{00} = \Pi_{11} = 1, \Pi_{01} = 10, \Pi_{10} = 5$ .

Рассчитать среднюю вероятность ошибки обнаружителя. Изобразить качественно условные распределения сигнала  $\varphi(z/H_0)$  и  $\varphi(z/H_1)$  на входе порогового устройства.

### Критерии оценивания контрольной работы

#### 1. Нормы оценивания работы

№ п/п	Структурная часть контрольной работы	Количество баллов (*)
1	Правильно решено каждое задание	1 балл

(\*) Возможна градация в 0,25 балла.

#### 1. Шкала оценивания работы:

п/п	Оценка	Количество баллов
1	Отлично	4,75-5
2	Хорошо	3,75-4,5
3	Удовлетворительно	3-3,5
4	Неудовлетворительно	менее 3

### 6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

#### Критерии выставления зачета:

Отметка «зачтено» выставляется студенту, который в течение семестра:

1. Посещал лекционные, практические (при наличии пропусков занятий – предоставил преподавателю все выполненные задания по теме занятия).

2. Не имеет оценок «не зачтено» по итогам работы на практических занятиях.

3. Не имеет оценок «не зачтено» по итогам выполнения заданий для самостоятельной работы.

4. Написал итоговую проверочную работу на оценку не ниже, чем «удовлетворительно».

Зачет выставляется студенту при выполнении всех указанных критериев.

### 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

#### 7.1. Основная литература

1. Сидельников Г.М. Статистическая теория радиотехнических систем: учебное пособие / Г.М. Сидельников, А.А. Макаров. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2015. – 194 с. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/54801.html>.

2. Кологривов В.А. Прикладные математические методы в радиотехнике. Часть 1. Аналоговые системы: учебное пособие / В.А. Кологривов. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 159 с. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/13963.html>.

3. Кологривов В.А. Прикладные математические методы в радиотехнике. Часть 2. Дискретные и цифровые системы: учебное пособие / В.А. Кологривов. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 195 с. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/13964.html>.

## 7.2 Дополнительная литература

1. Сенин, А. И. Статистическая радиотехника. Примеры и задачи: учебное пособие / А. И. Сенин. – М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2010. – 72 с. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/31267.html>.
2. Спектор А. А. Статистическая теория радиотехнических систем: учебное пособие / А. А. Спектор. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. – 82 с. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/45169.html>.
3. Худяков Г.И. Статистическая теория радиотехнических систем: учеб. пособие для студ. вузов / Г.И. Худяков.- М.: Академия, 2009. - 400 с.
4. Горячкин О.В. Лекции по статистической теории систем радиотехники и связи: учеб. пособие / О.В. Горячкин.- М.: Радиотехника, 2008.- 192 с.
5. Тихонов В.И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: учебное пособие для вузов / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов.- 2-е изд., испр. - М.: Радио и связь, 2004.- 608 с.
6. Исаков В.Н. Курс лекций по дисциплине «Статистическая теория радиотехнических систем»/ В.Н. Исаков. –М.: Изд-воМИРЭА, 2010 – 170 с.
7. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем: учебное пособие для вузов / А. И. Перов.- М.: Радиотехника, 2003.- 400 с.

## 7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://school-collection.edu.ru/> – Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов.
2. <http://fcior.edu.ru/> – Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (ФЦИОР)
3. Электронно-библиотечная система «IPRbooks» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: доступ из корпоративной сети РГРТУ – свободный, доступ из сети Интернет – по паролю. – URL: <https://iprbookshop.ru/>.
4. Пакет схематического моделирования цифровых, аналоговых и аналогово-цифровых электронных схем высокой сложности: [https://cxem.net/software/electronics\\_workbench.php](https://cxem.net/software/electronics_workbench.php).

### Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Каталог ГОСТ: радиотехнические материалы: <https://internet-law.ru/gosts/2814/>.
2. Справочник по радиокомпонентам отечественного производства: <https://radio-komplekt.ru/handbook.php>.
3. Технический справочник радиодеталей: <https://radiosvod.ru/>.
4. Справочник по микроконтроллерам: <https://www.radioman-portal.ru/sprav/microcontrollers/>.
5. Информационно-поисковый портал по электронике: <http://radionet.com.ru/>.
6. Реестр Федерального института промышленной собственности: <https://www1.fips.ru/registers-web/>.
7. Сервер CHIPINFO: база данных по электронным компонентам: <http://www.chipinfo.ru/>.
8. QRZ.RU: технический портал – Сайт для радиолюбителей: <https://www.qrz.ru/beginners/>.
9. Журнал сетевых решений LAN: <https://www.osp.ru/lan>
10. Электротехнический портал для студентов вузов и инженеров: <http://xn---8sbnaarbidfksmiphlmncm1d9b0i.xn--p1ai/>.

## **8. Материально-техническое обеспечение**

**Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа**, оснащенная стандартной учебной мебелью, мультимедиапроектором, ноутбуком, колонками, интерактивной доской.

**Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации**, оснащенная стандартной учебной мебелью, компьютерами, интерактивной доской, мультимедийным проектором.

**Помещение для самостоятельной работы** – компьютерный класс с доступом к сети «Интернет» и ЭИОС СмолГУ.

## **9. Программное обеспечение**

Microsoft Open License (Windows XP, 7, 8, 10, Server, Office 2003-2016), лицензия 66975477 от 03.06.2016 (бессрочно).

Программный комплекс «ElectronicsWorkbench» (свободная лицензия).

Обучающимся обеспечен доступ к ЭБС «Юрайт», ЭБС «IPRbooks», доступ в электронную информационно-образовательную среду университета, а также доступ к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 03B6A3C600B7ADA9B742A1E041DE7D81B0  
Владелец: Артеменков Михаил Николаевич  
Действителен: с 04.10.2021 до 07.10.2022