

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.09.2022 14:27:31  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Б.Б.Педько

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Статистическая радиофизика**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология радиоэлектронных приборов и устройств

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., Васильев С.А.

Тверь, 2022

## I. Аннотация

### 1. Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

Статистическая радиофизика

### 2. Цель и задачи дисциплины

*Целью освоения дисциплины является:*

- ознакомление с основными статистическими методами, применяемыми в радиофизических теоретических и экспериментальных исследованиях;
- знакомство с постановкой и решением задач оптимальной обработки сигналов.

*Задачами освоения дисциплины является*

- усвоение элементов теории случайных процессов, знакомство с основными типами и свойствами случайных процессов, используемых в радиофизике;
- получение навыков решения основных задач спектрально-корреляционного анализа случайных процессов и их преобразований различными системами;
- усвоение основ теории оптимального обнаружения сигналов и решение важнейших практических задач согласованной фильтрации;
- знакомство с природой шумов и флуктуацией в радиотехнических системах.

### 3. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к дисциплинам вариативной части учебного плана

### 4. Объем дисциплины:

3 зачетных единиц, 108 академических часов, **в том числе контактная работа:** лекции 22 часов, практические занятия 33 часов; **самостоятельная работа:** 53 часов.

В учебном плане 2014 года набора -

### Объем дисциплины:

3 зачетных единиц, 108 академических часов, **в том числе контактная работа:** лекции 33 часов, практические занятия 22 часов; **самостоятельная работа:** 53 часов.

### 5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1	<b>Знать:</b> основные статистические методы анализа и синтеза радиотехнических узлов и устройств.

<p>способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования</p>	
<p><b>ПК-2</b> способность использовать основные методы радиофизических измерений</p>	<p><b>Уметь:</b> использовать эти методы для анализа и разработки узлов, приборов, комплексов в соответствии с реальными требованиями, предъявляемыми к этим устройствам, приобрести новое понимание процессов, происходящих в различных реальных системах, используемых для передачи, приема и анализа информации</p>

В учебном плане 2014 года набора – ОПК-2

<p><b>Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)</b></p>	<p><b>Планируемые результаты обучения по дисциплине</b></p>
<p><b>ОПК-2</b> способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные информационные технологии</p>	<p><b>Уметь</b> самостоятельно сформировать системно-теоретические знания и практические навыки для принятия обоснованных решений при проведении научно-исследовательских и ремонтных работ.</p>

## 6. Форма промежуточной аттестации

зачет в 8 семестре

## 7. Язык преподавания русский.

## II. Структура дисциплины

### 1. Структура дисциплины для студентов очной формы обучения

Учебная программа – наименование	Всего	Контактная	Самостоя-
----------------------------------	-------	------------	-----------

разделов и тем	(час.)	работа (час.)		тельная работа (час.)
		Лекции	Практические (лабораторные) работы	
<p><b>1. Случайные процессы и их модели</b></p> <p>Предмет и методы статистической радиофизики. Случайные процессы. Вероятностные характеристики случайных процессов. Определения. Общая классификация случайных процессов. Функции распределения случайного процесса. Плотности вероятности и характеристические функции. Моментные функции случайного процесса. Совокупность случайных процессов. Комплексный случайный процесс. Классификация случайных процессов по их вероятностным характеристикам. Стационарные случайные процессы. Классификация случайных процессов по их вероятностным характеристикам. Пример стационарного в узком смысле случайного процесса. Стационарность в широком смысле. Эргодические случайные процессы. Пример эргодического случайного процесса. Случайные процессы, удовлетворяющие условию сильного перемешивания. Стационарно связанные и совместно эргодические случайные процессы. Случайные процессы со стационарными приращениями.</p> <p>Энергетические характеристики случайных процессов. Общие свойства корреляционной функции. Ортогональное разложение корреляционной функции. Корреляционная функция стационарного процесса. Взаимная корреляционная функция стационарно связанных процессов. Теорема Хинчина – Винера. Взаимная спектральная плотность.</p> <p>Классификация стационарных в широком смысле процессов по их спектральной плотности мощности. Узкополосные процессы. Белый шум.</p> <p>Случайные процессы с дискретным спектром. Вероятностные характеристики выбросов случайного процесса. Среднее число пересечений. Средняя длительность выбросов случайного процесса. Экстремумы случайного процесса. Основные модели случайных процессов. Классификация основных моделей. Детерминированный процесс.</p>	20	4	6	10

<p>Квазидетерминированные случайные процессы. Случайные процессы с независимыми значениями. Случайные процессы с независимыми приращениями. Марковские случайные процессы. Гауссовские случайные процессы. Определение. Стационарный гауссовский случайный процесс. Гауссовский процесс с независимыми значениями. Случайные процессы с независимыми приращениями. Вероятностные характеристики. Однородные процессы с независимыми приращениями. Случайные процессы со скачками в фиксированные моменты времени. Гауссовский процесс с независимыми приращениями. Винер-овский случайный процесс. Пуассоновский процесс. Однородный пуассоновский процесс. Обобщенный однородный пуассоновский процесс. Белый шум. Марковские случайные процессы. Вероятностные характеристики. Однородные марковские процессы. Многосвязный марковский процесс. Векторный марковский процесс. Гауссовский марковский процесс. Дифференциальное уравнение для плотности вероятности перехода непрерывного марковского процесса. Диффузионные процессы. Уравнение Фоккера –Планка. Стационарные диффузионные процессы</p>				
<p><b>2. Отклик на шумовое воздействие</b>  Отклик линейной системы на шумовое воздействие. Преобразование корреляционных функций и спектров. Фильтрация шума избирательными системами. RC – фильтр. Колебательный контур.  Отклик линейной системы на шумовое воздействие. Анализ вынужденных колебаний с помощью укороченных уравнений. Установление шумовых колебаний в линейном осцилляторе – пример нестационарного случайного процесса. Белый шум и «черный ящик». Нормализация флуктуаций в узкополосных системах. Собственные шумы линейных систем. Тепловые шумы диссипативных линейных систем. Формула Найквиста в классической области. Спектр и корреляционная функция шума. Флуктуационно – диссипативная теорема.</p>	20	4	6	10
<p><b>3. Выделение сигнала из шума</b>  Прием сигналов в условиях шумов. Оптимальный фильтр. Согласованный фильтр. Корреляционный прием. Отношение правдо-</p>	20	4	6	10

<p>подобия и обнаружение сигнала. Критерий обнаружения. Обработка сигналов. Виды сигналов. Проблема выборки. Примеры обработки сигналов. Сглаживание сигналов. Подавление шумов. Необходимые математические представления. Математическое представление сигнала. Скалярное произведение и расстояние для двух векторов. Ортонормированный базис. Переход от векторного пространства к пространству функций. Система ортонормированных функций. Функция корреляции. Функция взаимной корреляции. Функция автокорреляции. Разложение в ряд Фурье. Четная и нечетная функция. Разложение в комплексный ряд Фурье. Пример разложения в комплексный ряд Фурье. Теорема Парсеваля. Практическое применение разложения в ряд Фурье. Наиболее важные свойства разложения в ряд Фурье. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Быстрое преобразование Фурье.</p>				
<p><b>4. Дифракция и взаимодействие случайных волн</b> Случайные волны в линейных средах. Введение. Корреляционные функции и спектры. Метод медленно меняющихся амплитуд. Плоские звуковые волны. Общее уравнение для случайных волн. Дифракция случайных волн. Дифракция в фокусе линзы.</p>	20	4	6	10
<p><b>5. Рассеяние волн в случайно неоднородных средах.</b> Рассеяние света в статически неоднородных средах. Рэлеевское рассеяние; интенсивность и корреляционная функция рассеянного света.</p>	18	4	6	8
<p><b>6. Аналогово-цифровые преобразователи.</b> Общая классификация и принципы действия аналогово-цифровых преобразователей</p>	10	2	3	5
<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>22</b>	<b>33</b>	<b>53</b>

В учебном плане 2014 года набора

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Практические (лабораторные) работы	
<p><b>1. Случайные процессы и их модели</b> Предмет и методы статистической радиопроизики. Случайные процессы.</p>	20	6	4	10

Вероятностные характеристики случайных процессов. Определения. Общая классификация случайных процессов. Функции распределения случайного процесса. Плотности вероятности и характеристические функции. Моментные функции случайного процесса. Совокупность случайных процессов. Комплексный случайный процесс. Классификация случайных процессов по их вероятностным характеристикам. Стационарные случайные процессы. Классификация случайных процессов по их вероятностным характеристикам. Пример стационарного в узком смысле случайного процесса. Стационарность в широком смысле. Эргодические случайные процессы. Пример эргодического случайного процесса. Случайные процессы, удовлетворяющие условию сильного перемешивания. Стационарно связанные и совместно эргодические случайные процессы. Случайные процессы со стационарными приращениями.

Энергетические характеристики случайных процессов. Общие свойства корреляционной функции. Ортогональное разложение корреляционной функции. Корреляционная функция стационарного процесса. Взаимная корреляционная функция стационарно связанных процессов. Теорема Хинчина – Винера. Взаимная спектральная плотность.

Классификация стационарных в широком смысле процессов по их спектральной плотности мощности. Узкополосные процессы. Белый шум.

Случайные процессы с дискретным спектром. Вероятностные характеристики выбросов случайного процесса. Среднее число пересечений. Средняя длительность выбросов случайного процесса. Экстремумы случайного процесса. Основные модели случайных процессов. Классификация основных моделей. Детерминированный процесс. Квазидетерминированные случайные процессы. Случайные процессы с независимыми значениями. Случайные процессы с независимыми приращениями. Марковские случайные процессы. Гауссовские случайные процессы. Определение. Стационарный гауссовский случайный процесс. Гауссовский процесс с независимыми значениями. Случайные процессы с

<p>независимыми приращениями. Вероятностные характеристики. Однородные процессы с независимыми приращениями. Случайные процессы со скачками в фиксированные моменты времени. Гауссовский процесс с независимыми приращениями. Вине-ровский случайный процесс. Пуассоновский процесс. Однородный пуассоновский процесс. Обобщенный однородный пуассоновский процесс. Белый шум. Марковские случайные процессы Вероятностные характеристики. Однородные марковские процессы. Многосвязный марковский процесс. Векторный марковский процесс. Гаусовский марковский процесс. Дифференциальное уравнение для плотности вероятности перехода непрерывного марковского процесса. Диффузионные процессы. Уравнение Фоккера –Планка. Стационарные диффузионные процессы</p>				
<p><b>2. Отклик на шумовое воздействие</b>  Отклик линейной системы на шумовое воздействие. Преобразование корреляционных функций и спектров. Фильтрация шума избирательными системами. RC – фильтр. Колебательный контур.  Отклик линейной системы на шумовое воздействие. Анализ вынужденных колебаний с помощью укороченных уравнений. Установление шумовых колебаний в линейном осцилляторе – пример нестационарного случайного процесса. Белый шум и «черный ящик». Нормализация флуктуаций в узкополосных системах. Собственные шумы линейных систем. Тепловые шумы диссипативных линейных систем. Формула Найквиста в классической области. Спектр и корреляционная функция шума. Флуктуационно – диссипативная теорема.</p>	20	6	4	10
<p><b>3. Выделение сигнала из шума</b>  Прием сигналов в условиях шумов. Оптимальный фильтр. Согласованный фильтр. Корреляционный прием. Отношение правдоподобия и обнаружение сигнала. Критерий обнаружения. Обработка сигналов. Виды сигналов. Проблема выборки. Примеры обработки сигналов. Сглаживание сигналов. Подавление шумов. Необходимые математические представления. Математическое представление сигнала. Скалярное произведение и расстояние для двух векторов. Ортонормированный базис. Переход</p>	20	6	4	10

от векторного пространства к пространству функций. Система ортонормированных функций. Функция корреляции. Функция взаимной корреляции. Функция автокорреляции. Разложение в ряд Фурье. Четная и нечетная функция. Разложение в комплексный ряд Фурье. Пример разложения в комплексный ряд Фурье. Теорема Парсеваля. Практическое применение разложения в ряд Фурье. Наиболее важные свойства разложения в ряд Фурье. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Быстрое преобразование Фурье.				
<b>4. Дифракция и взаимодействие случайных волн</b> Случайные волны в линейных средах. Введение. Корреляционные функции и спектры. Метод медленно меняющихся амплитуд. Плоские звуковые волны. Общее уравнение для случайных волн. Дифракция случайных волн. Дифракция в фокусе линзы.	20	6	4	10
<b>5. Рассеяние волн в случайно неоднородных средах.</b> Рассеяние света в статически неоднородных средах. Рэлеевское рассеяние; интенсивность и корреляционная функция рассеянного света.	18	6	4	8
<b>6. Аналогово-цифровые преобразователи.</b> Общая классификация и принципы действия аналогово-цифровых преобразователей	10	3	2	5
<b>ИТОГО</b>	108	33	22	53

### **III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

- планы практических (семинарских) занятий
- темы рефератов для самостоятельной работы,
- методические рекомендации
- требования к рейтинг контролю
- итоговый контроль

### **IV. Фонды оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

**Форма проведения промежуточного контроля:** студенты, освоившие программу курса «Статистическая радиофизика» могут получить зачет по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.). Максимальная сумма баллов, которые можно получить за семестр 100.

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то зачет сдается согласно «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.).

Контроль сформированности компетенции осуществляется с помощью оценочных средств на основе критериев, которые разрабатываются с целью выявления соответствия этапов освоения компетенции планируемым результатам обучения (см. карту компетенций).

**1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-1 "Способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования"**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<p><b>Знать:</b> основные статистические методы анализа и синтеза радиотехнических узлов и устройств.</p>	<p>Понятие статистического ансамбля.</p> <p>Привести пример стационарного, но неэргодического случайного процесса (статистического ансамбля) с доказательством и обсуждением причин неэргодичности.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тема актуальна и сформулирована грамотно – 1 балл;</li> <li>• тема полностью раскрыта в докладе; корректно использован понятийный аппарат; логичность и ясность изложения – 2 балла;</li> <li>• использованы публикации последних лет – 1 балл;</li> <li>• определена позиция автора; предложен и аргументирован собственный взгляд на проблему – 1 балл;</li> </ul>

**2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-2 "Способность использовать основные методы радиофизических измерений"**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<p><b>Уметь:</b> использовать эти методы для анализа и разработки узлов, приборов, комплексов в соответствии с реальными требованиями, предъявляемыми к этим устройствам, приобрести новое понимание процессов, происходящих</p>	<p>Примеры обработки сигналов.</p> <p>Анализ вынужденных колебаний с помощью укороченных уравнений.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тема актуальна и сформулирована грамотно – 1 балл;</li> <li>• тема полностью раскрыта в докладе; корректно использован понятийный аппарат; логичность и ясность изложения – 2 балла;</li> <li>• использованы публикации последних лет – 1 балл;</li> </ul>

в различных реальных системах, используемых для передачи, приема и анализа информации		<ul style="list-style-type: none"> <li>определена позиция автора; предложен и аргументирован собственный взгляд на проблему – 1 балл</li> </ul>
---	--	---

## **V. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

а) основная литература:

1. Куприянова Г.С. Практическая квантовая радиофизика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.С. Куприянова. — Электрон. текстовые данные. — Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2008. — 128 с. — 978-5-88874-855-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23868.html>

б) дополнительная литература:

1. Спектор А.А. Статистическая теория радиотехнических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.А. Спектор. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 82 с. — 978-5-7782-2180-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45169.html>

## **VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины**

Научная библиотека ТвГУ – <http://library.tversu.ru>;

Сервер обеспечения дистанционного обучения и проведения Web-конференций Mirapolis Virtual Room – <http://mvr.tversu.ru>;

## **VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

### ***План практических заданий***

#### **I. Вероятность, плотность вероятности, случайные процессы и их модели**

1. Случайная величина  $x$  имеет плотность вероятности

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ \frac{a}{(1+x)^3} & x \geq 0 \end{cases}$$

Найти  $a$ , функцию распределения  $F(x)$  и вероятность попадания в отрезок  $[0,1]$ .

2. Случайная величина  $x$  имеет плотность вероятности

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ \frac{2}{(1+x)^3} & x \geq 0 \end{cases}$$

Найти среднее  $x$  и ее дисперсию.

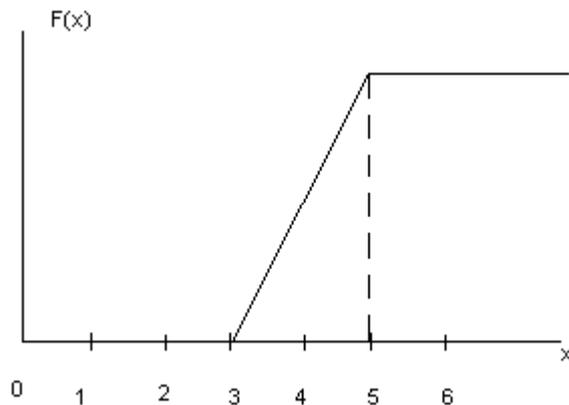
3. Непрерывная случайная величина  $x$  равномерно распределена на интервале  $a < x < b$ .  
Найти плотность вероятности, функцию распределения и дисперсию.

4. Случайная величина  $x$  имеет одностороннюю экспоненциальную плотность вероятности

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ \lambda \exp(-\lambda x) & x \geq 0 \end{cases}$$

Найти среднее  $x$  и дисперсию.

5. Функция распределения  $F(x)$  задана графически



Найти ее аналитическое выражение, плотность вероятности, вероятность того, что  $x$  примет значение от 3,5 до 4,5.

6. Плотность вероятности  $f(x)$  случайной величины  $x$  имеет вид

$$f(x) = \alpha \exp(-|x|) \quad -\infty < x < \infty$$

Найти  $\alpha$ , среднее, дисперсию и вероятность попадания  $x$  в интервал  $-1 < x < 1$ .

7. Случайный процесс представляет собой аддитивную смесь полезного сигнала и шума

$$y(t) = S(t) + n(t),$$

где  $n(t)$  – помеха с известным математическим ожиданием  $mn(t) = 0$  и дисперсией  $Dn(t) = Dn$ .

Найти математическое ожидание и дисперсию процесса  $y(t)$

8. При какой плотности вероятности  $f_\phi(\phi)$  процесс  $U(t) = a \cos(\omega t + \phi)$

будет стационарным в широком смысле.

9. Случайный процесс имеет реализацию вида

$$x(t) = a \cos \omega_0 t + b \sin \omega_0 t$$

с постоянным  $\omega_0$  и случайными  $a$  и  $b$ . Найти условие стационарности в широком смысле.

10. Пусть  $x(t)$  - белый шум. Найти функцию корреляции  $\Psi_y(t_1, t_1)$  для Винеровского случайного процесса  $y(t)$ , интеграла от  $x(t)$

$$y(t) = \int_0^t x(t') dt'$$

11. Найти корреляционную функцию  $K_\xi(\tau)$  и спектральную плотность  $S_\xi(\omega)$  для стационарного случайного процесса

$$\xi(\tau) = A_0 \cos(\omega_0 \tau + \phi)$$

где  $A_0$  и  $\omega_0$  - постоянные амплитуда и частота, а начальная фаза  $\phi$  равномерно распределена на интервале  $[-\pi, \pi]$ , то есть

$$f_\phi(\phi) = \frac{1}{2\pi} \quad -\pi \leq \phi \leq \pi$$

12. Найти корреляционную функцию  $K_\xi(\tau)$  и спектральную плотность  $S_\xi(\omega)$  для стационарного случайного процесса

$$\xi(\tau) = A \cos(\omega t + \phi)$$

где  $A, \omega$  и  $\phi$  - независимые случайные амплитуда, частота и начальная фаза;  $A, \omega$  заданы одномерными плотностями вероятности  $f_A(A), f_\omega(\omega)$ , а начальная фаза  $\phi$  равномерно распределена на интервале  $[-\pi, \pi]$ , то есть

$$f_\phi(\phi) = \frac{1}{2\pi} \quad -\pi \leq \phi \leq \pi$$

13. Найти спектральную плотность процесса  $\xi(t)$  с нулевым матожиданием и корреляционной функцией

$$K_\xi(\tau) = \sigma^2 \exp(-\alpha|\tau|)$$

14. Найти спектральную плотность процесса  $\xi(t)$  с нулевым матожиданием и корреляционной функцией

$$K_\xi(\tau) = \sigma^2 \exp(-\alpha|\tau|) \cos(\omega_0 \tau)$$

15. Найти корреляционную функцию  $K_\xi(\tau)$  для низкочастотного прямоугольного спектра

$$S_\xi(\omega) = \begin{cases} S_0 & |\omega| \leq h \\ 0 & |\omega| > h \end{cases}$$

16. Найти корреляционную функцию  $K_\xi(\tau)$  для стационарного процесса с односторонней спектральной плотностью  $S_{0\xi}(\omega) = \begin{cases} C_0 & |\omega - \omega_0| \leq \Delta\omega \\ 0 & |\omega - \omega_0| > \Delta\omega \end{cases}$

17. Найти корреляционную функцию  $K_\xi(\tau)$  для стационарного процесса с односторонней спектральной плотностью

$$S_{0\xi}(\omega) = C_0 \exp\left\{-\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2h^2}\right\}$$

18. Найти корреляционную функцию  $K_\xi(\tau)$  и спектральную плотность  $S_\xi(\omega)$  для случайного процесса с амплитудной модуляцией

$$\xi(\tau) = A \cos(\omega t + \phi)$$

где  $A, \omega$  и  $\phi$  - независимые случайные амплитуда, частота и начальная фаза;  $A, \omega$  заданы одномерными плотностями вероятности  $f_A(A), f_\omega(\omega)$ , а начальная фаза  $\phi$  равномерно распределена на интервале  $[-\pi, \pi]$ , то есть

$$f_\phi(\phi) = \frac{1}{2\pi} \quad -\pi \leq \phi \leq \pi$$

## II. Отклик линейной системы на шумовое воздействие

1. Найти корреляционную функцию на выходе идеальной дифференцирующей цепи

$$y(t) = \frac{dx(t)}{dt},$$

когда на входе стационарный процесс  $x(t)$ .

2. Найти корреляционную функцию на выходе цепи, описываемой выражением

$$y(t) = \frac{dx(t)}{dt} + x(t),$$

когда на входе стационарный процесс  $x(t)$ .

3. Найти корреляционную функцию на выходе идеальной интегрирующей цепи

$$y(t) = \int_0^t x(t') dt',$$

когда на входе стационарный процесс  $x(t)$ .

4. Найти спектр и корреляционную функцию на выходе дифференцирующей RC цепи, когда на входе белый шум.

5. Найти спектр и корреляционную функцию на выходе интегрирующей RC цепи, когда на входе белый шум.

6. Найти спектр и корреляционную функцию на выходе идеального фильтра с АЧХ

$$C(\omega) = \begin{cases} 1 & |\omega - \omega_0| \leq \Delta_c / 2 \\ 0 & |\omega - \omega_0| > \Delta_c / 2 \end{cases} \quad \omega \geq 0$$

когда на входе белый шум.

7. Найти спектр и корреляционную функцию на выходе идеального фильтра с АЧХ

$$C(\omega) = \exp\left\{-\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\beta^2}\right\} \quad \omega \geq 0$$

когда на входе белый шум.

## III. Отклик нелинейной системы на шумовое воздействие

- 1 Найти плотность вероятности напряжения  $y$  на выходе двустороннего квадратичного детектора

$$y = \beta x^2, \quad \beta > 0$$

когда входной шум  $x$  распределен по нормальному закону:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi 2\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{(x)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

- 2 Найти плотность вероятности напряжения  $y$  на выходе одностороннего линейного детектора

$$y = \begin{cases} \beta x & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

$\beta > 0$ , когда входной шум  $x$  распределен по нормальному закону:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi 2\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{(x)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

- 3 Найти плотность вероятности напряжения  $y$  на выходе одностороннего квадратичного детектора

$$y = \begin{cases} \beta x^2 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

$\beta > 0$ , когда входной шум  $x$  распределен по нормальному закону:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi 2\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{(x)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

- 4 Найти плотность вероятности напряжения  $y$  на выходе кусочно-линейного детектора

$$y = \begin{cases} \beta_1 x & x \geq 0 \\ \beta_2 x & x < 0 \end{cases}$$

когда входной шум  $x$  распределен по нормальному закону:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi 2\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{(x)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

- 5 Найти среднее и дисперсию напряжения  $y$  на выходе двустороннего линейного детектора

$$y = \beta |x| = \begin{cases} \beta x & x \geq 0 \\ -\beta x & x < 0 \end{cases}$$

когда входной шум  $x$  распределен по нормальному закону:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi 2\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{(x)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

### **Темы рефератов для самостоятельной работы:**

1. Виды и основные модели случайных процессов
2. Прием сигналов в условиях шума
3. Методы контроля ошибок при использовании цифровой памяти.
4. Коррекции ошибок в оперативной памяти. Код Хэмминга.
5. Последовательные АЦП
6. Параллельные АЦП
7. Сигма-дельта АЦП
8. АЦП последовательного приближения
9. Интегральные АЦП

### **Методические рекомендации**

Предметом оценки является подготовка студентов к занятиям, работа студентов на практических занятиях, выполнение ими заданий для самостоятельной работы

Оценки успеваемости студентов проходит в модульную неделю в соответствии с графиков учебного процесса.

Практические задания по демонстрации компетенций заключаются в устных или письменных ответах на поставленные преподавателем или составленным самими студентами вопросы (традиционные или в форме тестов). При этом оценивается обоснованность ответа, ясность и последовательность изложения мысли. Такая демонстрация компетенций проверяет уровень владения теоретическим и практическим материалом.

### **Требования к рейтинг-контролю**

Оценка знаний студентов осуществляется по результатам успеваемости и оценивается по 100 – бальной системе. Семестр делится на два модуля.

Дисциплина «Технологические аспекты преобразования энергии» заканчивается зачетом в 8 семестре. Согласно нормативно – методическим материалам рейтинговой системы оценки качества учебной работы студентов ТвГУ, студент по предмету для получения зачета должен набрать за семестр не менее 50 баллов. Учащиеся, набравшие менее 20 балловздают теоретический зачет в конце семестра.

1 контрольная точка. По текущей работе студента – 21 баллов. Итоговый контроль за модуль – 9 баллов. Всего 30 баллов.

2 контрольная точка. По текущей работе студента – 21 баллов. Итоговый контроль за модуль – 9 баллов. Премияльные за выполнение и сдачу всех лабораторных работ 20 баллов. Выступление с докладом – 20 баллов. Всего 70 баллов.

Баллы по текущей работе студента начисляются за следующие виды работ:

- практические работы – 7 баллов;
- выступление с докладом по теме реферата – 20 баллов;
- модульная контрольная работа – максимум 9 баллов.

**-Итоговый контроль** проводится в форме зачета, который включает письменные или устные ответы на теоретические вопросы.

Вопросы к зачету:

1. Определение случайного процесса. Понятие статистического ансамбля. Вероятностное описание случайного процесса с помощью многомерных плотностей вероятности. Основные свойства многомерных плотностей вероятности случайного процесса.
2. Классификация случайных процессов по их вероятностному последствию. Совершенно случайные процессы и марковские процессы, их описание. Уравнение Смолуховского для условной плотности вероятности марковского процесса.
3. Детерминированные и квазидетерминированные процессы, их описание в рамках теории случайных процессов, выражения для n-мерных плотностей вероятности.
4. Многомерная характеристическая функция случайного процесса и ее основные свойства.
5. Моментные функции случайного процесса. Среднее значение и корреляционная функция. Связь моментных функций с характеристической функцией.
6. Ковариационная функция случайного процесса. Дисперсия. Понятия некоррелированности и статистической независимости двух значений случайного процесса. Коэффициент корреляции.
7. Гауссовские случайные процессы, их n-мерная характеристическая функция и плотность вероятности. Информация, необходимая для полного описания гауссовского случайного процесса.
8. Основные свойства гауссовских случайных процессов. Выражение n-мерных моментных функций гауссовского случайного процесса с нулевым средним значением через ковариационную функцию.
9. Стационарные случайные процессы. Понятия стационарности в узком и широком смысле, их взаимоотношение.
10. Стационарность квазидетерминированных случайных процессов (рассмотреть на примерах  $X(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$ ;  $X(t) = S(t + \tau_0)$ , где  $\varphi$  и  $\tau_0$  - случайные величины,  $S(t)$  - периодическая детерминированная функция).
11. Эргодичность случайных процессов. Вывод необходимых и достаточных условий эргодичности по отношению к среднему значению .
12. Привести пример стационарного, но неэргодического случайного процесса (статистического ансамбля) с доказательством и обсуждением причин неэргодичности.
13. Необходимые и достаточные условия эргодичности по отношению к корреляционной функции случайного процесса (для произвольного и гауссовского процессов).
14. Достаточное условие эргодичности случайного процесса по отношению к одномерной плотности вероятности. Экспериментальное определение одномерной плотности вероятности эргодического случайного процесса.
15. Общее описание совокупности двух случайных процессов. Понятие статистической независимости двух случайных процессов. Взаимные корреляционная и ковариационная функции. Понятие некоррелированности двух случайных процессов.
16. Понятия стационарности, эргодичности, гауссовости совокупности двух случайных процессов. Разобрать пример двух стационарных, но нестационарно связанных случайных процессов.
17. Свойства корреляционной функции произвольного нестационарного случайного процесса.
18. Свойства корреляционной функции стационарного случайного процесса.
19. Типичные примеры корреляционных функций стационарных случайных процессов. Понятие времени корреляции.

20. Дифференцирование случайного процесса. Корреляционная функция и среднее значение производной от нестационарного случайного процесса.
21. Производная от стационарного случайного процесса, ее среднее значение и корреляционная функция (привести примеры нахождения).
22. Спектральная плотность мощности детерминированного гармонического сигнала, квазигармонического сигнала со случайной фазой и гармонического сигнала, модулированного по амплитуде стационарным случайным процессом.
23. Ширина спектра случайного процесса, ее связь со временем корреляции. Узкополосные случайные процессы.
24. Преобразование спектральной плотности мощности, функции корреляции II-го рода при прохождении случайного процесса через линейную систему.
25. Приближение “белого шума”. Квазистатистическое приближение.
26. Совместные функции корреляции (I и II-го рода) и спектральные плотности (энергии и мощности). Спектральная плотность мощности на выходе суммирующей цепочки.
27. Взаимная спектральная плотность мощности и функция когерентности. Их практическое использование для решения задач технической диагностики.
28. Корреляционная функция спектральных компонент случайного процесса и ее свойства.
29. Корреляционная функция спектральных компонент стационарного случайного процесса, ее выражения через спектральную плотность мощности, взаимная корреляционная функция на выходе двух линейных фильтров, на вход которых подается один и тот же случайный процесс.
30. Спектрально-корреляционный анализ нелинейных безынерционных преобразований случайных гауссовских процессов с помощью ковариационного ряда.
31. Спектрально-корреляционный анализ нелинейных безынерционных преобразований случайных гауссовских процессов с помощью формулы Прайса.
32. Импульсные случайные процессы. Определение пуассоновского импульсного случайного процесса.
33. Характеристическая функция пуассоновского импульсного случайного процесса.
34. Кумулянтные функции пуассоновского импульсного случайного процесса. Спектральная плотность мощности. Формула Кэмпбелла.
35. Формулировка задачи оптимального обнаружения сигнала на фоне шума при дискретных наблюдениях. Отношение правдоподобия. Понятие достаточной статистики.
36. Оптимальное обнаружение детерминированного сигнала на фоне аддитивного гауссовского шума. Дискретные наблюдения.
37. Оптимальное обнаружение детерминированного сигнала на фоне аддитивного “белого” гауссовского шума. Непрерывные наблюдения.
38. Согласованный фильтр, его импульсная переходная характеристика и коэффициент передачи. Характеристики сигнала и отношение сигнал/шум на выходе согласованного фильтра.

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

Процесс обучения включает аудиторные занятия путем проведения лекционных и семинарских занятий, групповые и индивидуальные консультации, текущий контроль

полученных знаний, использование различных форм научно-исследовательской деятельности студентов, самостоятельную работу, а так же проведение итогового контроля.

**IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебная аудитория № 28 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1. Комплект учебной мебели на 25 посадочных мест. 2. Экран настенный 153x203 3. Переносной комплект мультимедийной техники.	Adobe Acrobat Reader DC – бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. Google Chrome – бесплатно MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017

**Помещения для самостоятельной работы:**

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики,	1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт 2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь 3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-portr DGS-1016D 4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО	Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009 Google Chrome - бесплатно Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. Lazarus 1.4.0 - бесплатно Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011

<p>Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3» 7. Комплект учебной мебели</p>	<p>MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012 Microsoft Express Studio 4 - бесплатно MiKTeX 2.9 - бесплатно MPICH 64-bit – бесплатно MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>
---	--	--

#### Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (или модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1.	Раздел IV	Реквизиты «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» и «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
2.	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г