

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра радиофизики**



**Рабочая программа дисциплины  
СТАТИСТИЧЕСКАЯ РАДИОФИЗИКА**

направление подготовки: **03.03.02 Физика**  
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	36		32		2				2	
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,  
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. ....	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	5
5. Перечень учебной литературы. ....	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	8

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Статистическая радиофизика» реализуется на физическом факультете НГУ кафедрой радиофизики в весеннем семестре в качестве дисциплины по выбору для студентов четвертого курса физического факультета.

Целью освоения курса является ознакомление студентов со случайными процессами, их моделями и методами описания применительно к задачам радиофизики, ознакомление с математическим аппаратом описания спектральных и корреляционных характеристик случайных процессов при преобразовании в типовых звеньях радиотехнических устройств, ознакомление с влиянием шумов на работу автоколебательных систем, анализом узкополосных случайных процессов, описанием приема сигналов в условиях шумов и знакомство с элементами теории информации.

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал курса увязывается с современными исследованиями в области статистической радиофизики. Материал курса увязывается с общефизическими и математическими дисциплинами, изучаемыми студентами-физиками (теория вероятностей и математическая статистика, математический анализ и т.д.) и спецкурсами, параллельно изучающимися по данной специальности.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-1</b> Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p><b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p><b>ПК 1.3</b> Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p><b>Знать</b> природу случайных явлений в радиофизических системах и знать методы математического описания случайных процессов; математический аппарат, необходимый для обработки сигналов, получаемых в процессе проведения научных исследований в области статистической радиофизики.</p> <p><b>Уметь</b> определить основные статистические характеристики случайных процессов при решении конкретных задач; выполнить статистическую обработку результатов измерений.</p> <p><b>Владеть</b> навыками самостоятельной работы с учебной литературой в области статистической радиофизики; математическим аппаратом для описания основных статистических характеристик случайных процессов.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Статистическая радиофизика» реализуется в весеннем семестре 4-го курса для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой радиофизики. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 1 зачётную единицу, 36 академических часа.

Дисциплина «Статистическая радиофизика» опирается на следующие дисциплины данной образовательной программы:

- Теория вероятностей и математическая статистика;
- Математический анализ;
- Дифференциальные уравнения;
- Высшая алгебра;
- Электричество и магнетизм;
- Электродинамика.

Освоение дисциплины «Статистическая радиофизика» необходимо при подготовке и выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	36		32		2				2	
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: практические занятия, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателем во время практических занятий, дифференцированный зачет.

Программой дисциплины предусмотрен текущий контроль успеваемости – после каждого раздела курса письменный опрос по основным вопросам.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 1 зачетную единицу, 36 часов.

- практические занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра – 2 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (практические занятия, дифференцированный зачет) составляет 34 часа.

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

Дисциплина «Статистическая радиофизика» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-м курсе физического факультета НГУ в 8 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачётную единицу, 36 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (дифференцированный зачет)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Предмет статистической радиофизики. Случайные процессы и методы их описания.	1-3	6,5		6	0,5	
2	Модели случайных процессов	4-6	6,5		6	0,5	
3	Преобразования случайных процессов в линейных системах.	7-8	4,2		4	0,2	
4	Преобразования случайных процессов в нелинейных системах.	9-10	4,2		4	0,2	
5	Узкополосные случайные процессы.	11-12	4,2		4	0,2	
6	Прием сигналов в условиях шумов.	13-14	4,2		4	0,2	
7	Элементы теории информации.	15-16	4,2		4	0,2	
9	Дифференцированный зачет	17	2				2
<b>Всего</b>			<b>36</b>		<b>32</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

**Программа и основное содержание практических занятий (32 часа)**

**Раздел 1. Предмет статистической радиофизики. Случайные процессы и методы их описания (6 часов).**

Понятие случайного процесса. Функция и плотность распределения. Средние значения и моменты случайных величин. Корреляционная функция. Стационарные случайные процессы. Характери-

стическая функция. Разложение характеристической функции. Спектральная плотность. Формулы Винера – Хинчина. Белый шум. Эргодическое свойство случайных процессов. Дисперсия временного среднего. Выбор времени усреднения.

### **Раздел 2. Модели случайных процессов (6 часов).**

Нормальные процессы: характеристическая функция и плотность распределения, центральная предельная теорема, свойства нормального случайного процесса, условная плотность нормального распределения, предсказание случайных процессов, распределение Релея. Марковские случайные процессы: уравнение Смолуховского, нормальные марковские случайные процессы, диффузионные процессы, уравнения Колмогорова, процессы с независимыми приращениями, белый шум и винеровский процесс. Дробовой шум: распределение Пуассона, пуассоновский поток дельта-импульсов, модель дробового шума, среднее значение и функция корреляции дробового шума, энергетический спектр дробового шума, формула Шоттки. Тепловой шум. Шумы приемных антенн. Фликер-шум.

### **Раздел 3. Преобразования случайных процессов в линейных системах (4 часа).**

Основные соотношения из теории цепей. Линейная фильтрация. Интегральные характеристики линейного фильтра. Преобразование белого шума линейным фильтром. Нормализация случайного процесса. Корреляция шумов на выходе линейных систем. Вероятностная сходимость случайной функции. Условие непрерывности случайных процессов. Условие дифференцируемости случайных процессов. Свойства производной случайного процесса.

### **Раздел 4. Преобразования случайных процессов в нелинейных системах (4 часа).**

Корреляционная функция на выходе плавных нелинейностей. Двусторонний квадратичный детектор. Корреляционная функция на выходе кусочно-ломаных нелинейностей. Корреляционная функция на выходе предельного ограничителя. Корреляционная функция на выходе одностороннего линейного детектора. Корреляционная функция на выходе двустороннего линейного детектора. Энергетический спектр на выходе нелинейного элемента. Вероятность распределения на выходе нелинейного элемента: взаимнооднозначное преобразование, двусторонний квадратичный детектор, односторонний квадратичный детектор. Анализ работы автогенератора при наличии шума: уравнение генератора, решение уравнения методом линеаризации, характеристики фазы и амплитуды, спектральная плотность колебания.

### **Раздел 5. Узкополосные случайные процессы (4 часа).**

Функция корреляции узкополосного случайного процесса. Аналитический сигнал. Корреляционная функция сопряженного процесса. Взаимная корреляция сопряженных процессов. Корреляционные свойства квадратурных составляющих. Распределение огибающей и фазы нормального узкополосного шума. Распределение огибающей смеси сигнала и узкополосного нормального шума. Распределение фазы смеси сигнала с шумом. Теорема Котельникова.

### **Раздел 6. Прием сигналов в условиях шумов (4 часа).**

Оптимальный фильтр. Согласованный фильтр. Корреляционный прием. Отношение правдоподобия и обнаружение сигнала. Критерии обнаружения: критерии максимального правдоподобия и идеального наблюдателя, критерий Неймана – Пирсона.

### **Раздел 7. Элементы теории информации (4 часа).**

Количественное определение информации. Средняя собственная и взаимная информация. Свойства средней собственной и взаимной информации. Пропускная способность канала. Теорема Шеннона о помехоустойчивом кодировании.

### **Самостоятельная работа студентов (2 часа)**

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Самостоятельное повторение материала практических занятий в течение семестра	2

## **5. Перечень учебной литературы.**

### **5.1. Основная литература**

1. *Шиховцев И.В., Якубов В.П.* Статистическая радиофизика: Учеб. пособ. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2011. 157 с.
2. *Якубов В.П.* Статистическая радиофизика: Учебное пособие. Томск: Изд-во НТЛ, 2006. НГУ.

### **5.2. Дополнительная литература**

1. *Рытов С.М.* Введение в статистическую радиофизику, [Учеб. пособие для физ. спец. вузов], Ч.1. Случайные процессы. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1976. 494 с.
2. *Рытов С.М.* Введение в статистическую радиофизику, [Учеб. пособие для физ. спец. вузов], Ч.2. Случайные поля. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1978. 463 с.
3. *Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С.* Введение в статистическую радиофизику и оптику, М.: Наука, 1981.
4. *Тихонов В.И., Харисов В.Н.* Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем, М.: Радио и связь, 2004.
5. *Бендат Дж., Пирсол А.* Прикладной анализ случайных данных, М.: Мир, 1989.
6. *Данверпорт В.Б., Рут В.Л.* Введение в теорию случайных сигналов и шумов, М.: Изд. Иностранной литературы, 1960.
7. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы, М.: Высшая школа, любое издание.
8. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей, М.: Высшая школа. 2005.

## **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.**

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. *Шиховцев И.В., Якубов В.П.* Статистическая радиофизика: Учеб. пособ. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2011. 157 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

### **7.1 Современные профессиональные базы данных**

Не используются

### **7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

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

Для реализации дисциплины «Статистическая радиофизика» используются учебные аудитории для проведения практических занятий, текущего контроля, промежуточной аттестации.

Учебные аудитории укомплектованы техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

### **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

#### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

##### ***Текущий контроль***

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проведения письменных опросов по основным вопросам после каждого раздела.

##### ***Промежуточная аттестация***

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области статистической радиофизики в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра проводится в конце семестра в виде дифференцированного зачета по вопросам к промежуточному контролю по усвоению материала спецкурса (приведены ниже) и по задачам/примерам, которые разбираются на занятиях и позволяют лучше понять предмет статистической радиофизики. Вопросы подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

#### **Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины**

**Таблица 10.1**

<b>Индикатор</b>	<b>Результат обучения по дисциплине</b>	<b>Оценочные средства</b>
------------------	---	---------------------------



<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p>	<p><b>Знать</b> природу случайных явлений в радиофизических системах и знать методы математического описания случайных процессов; математический аппарат, необходимый для обработки сигналов, получаемых в процессе проведения научных исследований в области статистической радиофизики.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>
<p><b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p><b>Уметь</b> определить основные статистические характеристики случайных процессов при решении конкретных задач; выполнить статистическую обработку результатов измерений.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>
<p><b>ПК 1.3</b> Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p><b>Владеть</b> навыками самостоятельной работы с учебной литературой в области статистической радиофизики; математическим аппаратом для описания основных статистических характеристик случайных процессов.</p>	

## 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Статистическая радиофизика».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество не-	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на до-

			грубых ошибок.	ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	полнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

### 10.3 Вопросы к промежуточному контролю по усвоению материала спецкурса и для оценки результатов обучения.

#### 1. Случайные процессы и методы их описания.

1. Как связаны функция и плотность распределения случайного процесса?
2. Что такое центрирование случайного процесса?
3. Что такое момент  $n$ -го порядка для случайного процесса?
4. Написать выражение для корреляционной функции. В чем ее смысл?
5. Какова связь характеристической функции и плотности распределения случайного процесса?
6. Сформулировать понятие и условие стационарности случайного процесса.
7. Формулы Винера — Хинчина для энергетического спектра. Как соотносятся интегральный масштаб корреляции и интегральная ширина энергетического спектра?
8. Как выбрать интервал усреднения для эргодических случайных процессов?

#### 2. Модели случайных процессов.

1. Какой процесс называют нормальным? Свойства нормального случайного процесса.
2. Как найти коэффициент корреляции с помощью диаграммы рассеяния?
3. Написать основное уравнение для марковских процессов. В чем его смысл.
4. Вид корреляционной функции нормальных марковских процессов.
5. Что такое винеровский процесс? Привести пример.
6. Как записать пуассоновский поток  $\delta$ -импульсов?
7. Какова связь дробового шума с «белым» шумом?
8. Что описывает формула Шоттки?
9. Что описывает формула Найквиста?

#### 3. Преобразования случайных процессов в линейных системах.

1. Как изменяется спектр случайного процесса при линейной фильтрации? Что такое «окрашенный» шум?
2. Как можно использовать случайный процесс для измерения характеристик линейных систем? Сформулировать условие нормализации случайного процесса на выходе линейной системы.
3. Сформулировать необходимые и достаточные условия непрерывности (дифференцируемости) случайного процесса в среднеквадратическом смысле.
4. Как вычислить корреляционную функцию производной случайного процесса?
5. Как вычисляется дисперсия производной случайного процесса?

#### **4. Преобразования случайных процессов в нелинейных системах.**

1. Записать преобразование корреляционной функции на выходе нелинейного квадратичного детектора.
2. Что описывает формула Ван-Флека?
3. Как изменяется энергетический спектр случайного процесса при нелинейном преобразовании?
4. Записать закон распределения случайного процесса при взаимно однозначном нелинейном преобразовании.
5. Записать закон распределения случайного процесса при неоднозначном обратном нелинейном преобразовании.
6. Виды шумов в автогенераторе. Укороченные уравнения лампового генератора.
7. Характеристики фазы и амплитуды автогенератора, спектральная плотность колебания.

#### **5. Узкополосные случайные процессы.**

1. Что такое амплитуда и фаза случайного процесса?
2. Что такое аналитический случайный процесс?
3. Свойства взаимной корреляционной функции сопряженных по Гильберту процессов.
4. Закон распределения огибающей и фазы нормального узкополосного шума.
5. При каких значениях отношения сигнал - шум распределения амплитуды и фазы случайного процесса нормализуются?
6. Сформулировать теорему Котельникова для узкополосных случайных процессов.

#### **6. Прием сигналов в условиях шумов.**

1. Что такое дисперсия ошибки воспроизведения при оптимальной фильтрации?
2. Что такое согласованная фильтрация?
3. Каковы искажения сигнала при корреляционном приеме?
4. Что такое отношение правдоподобия?
5. Какие типы ошибок возникают при принятии решений?
6. Сформулировать основные критерии обнаружения.

#### **7. Элементы теории информации.**

1. Каковы единицы измерения информации?
2. Что такое энтропия сообщения?
3. Как соотносятся средняя собственная и взаимная информации?
4. Когда энтропия сообщения максимальна?
5. Что такое пропускная способность канала связи?
6. Сформулировать теорему Шеннона.

**Несколько примеров задач, которые разбираются в процессе обучения.**

**№ 1.** Найти среднее значение, корреляционную функцию, дисперсию

$$\xi(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi),$$

где  $A_0, \omega_0$  – константы,  $\varphi$  – случайная величина, равномерно распределенная в интервале  $[-\pi, \pi]$ .

**№ 2.** Определить, является ли процесс

$$\xi(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

стационарным в широком смысле, если  $\omega_0 = \text{const}$ ,  $A_0 \neq \infty$ ,  $\varphi$  – случайная величина, равномерно распределенная в интервале  $[-\pi, \pi]$ .

**№ 3.** Одномерная плотность вероятностей стационарного случайного процесса имеет вид

$$f(x) = \begin{cases} \alpha e^{-\alpha x}, & x > 0 \\ 0, & x < 0. \end{cases}$$

Определить характеристическую функцию процесса и среднее значение.

**№ 4.** Пусть  $\xi(\alpha) = A_0 \cos(\alpha)$ ,  $A_0 = \text{const}$ ,  $\alpha$  – случайная величина, равномерно распределенная в интервале  $[-\pi, \pi]$ . Найти плотность вероятности процесса  $\xi(\alpha)$ .

**№ 5.** Работа пропорционально-интегрирующего фильтра (рис.1 а и б) описывается линейным дифференциальным уравнением первого порядка:

$$\zeta(t) = \frac{t_1 p + 1}{t_2 p + 1} \xi(t) = T(p) \xi(t)$$

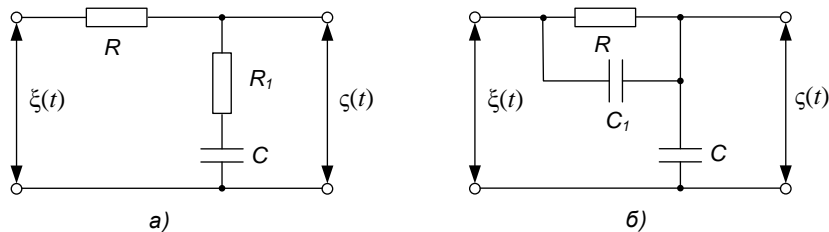


Рис.1. Два варианта схемы пропорционально-интегрирующего фильтра.

Для фильтра, изображенного на рисунке, а, коэффициенты  $t_1$  и  $t_2$  соответственно равны:

$$t_2 = C(R + R_1), \quad t_1 = R_1 C,$$

а для фильтра на рисунке б):

$$t_2 = R(C + C_1), \quad t_1 = R C_1,$$

На вход фильтра поступает случайное напряжение  $\xi(t)$ , представляющее собой стационарный гауссовский белый шум с нулевым математическим ожиданием  $m_\xi = 0$  и корреляционной функцией  $K_\xi(\tau) = W_0 \delta(\tau)$ .

Определить спектральную плотность  $W_\zeta(\omega)$  и корреляционную функцию  $K_\zeta(\tau)$  напряжения  $\zeta(t)$  на выходе фильтра.

**№ 6.** Узкополосный нормальный процесс имеет постоянное значение спектра мощности  $W_0 = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ В}^2 \cdot \text{с}$  в пределах полосы частот от  $\omega_{\min} = 10^5 \text{ с}^{-1}$  до  $\omega_{\max} = 1.02 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ . Найти вероятность того, что огибающая этого процесса будет превосходить уровень  $A_0 = 5 \text{ В}$ .

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Статистическая радиофизика»  
по направлению подготовки 03.03.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного