

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Статистическая радиофизика

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Фундаментальная радиофизика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.28 Статистическая радиофизика относится к обязательной части образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;	ОПК-1.1: Обладает фундаментальными знаниями в области физики и радиофизики ОПК-1.2: Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач ОПК-1.3: Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности	ОПК-1.1: Владеть базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности в области радиофизики ОПК-1.2: Владеть базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности в области радиофизики ОПК-1.3: Владеть базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности в области радиофизики	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы
ОПК-2: Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и	ОПК-2.1: Использует методы радиофизических измерений и методы обработки результатов ОПК-2.2: Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области	ОПК-2.1: Уметь самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии в области радиофизики	Задачи	Экзамен: Контрольные вопросы

представлять экспериментальные данные;	радиофизики, использует радиофизическое измерительное оборудование и применяет теоретические методы ОПК-2.3: Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов	ОПК-2.2: Уметь самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии в области радиофизики ОПК-2.3: Уметь самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии в области радиофизики		
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	48
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	17
Промежуточная аттестация	45
	Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о

Тема 1. Математические модели дискретных систем передачи информации	18	9	6	15	3
Тема 2. Пропускная способность дискретных каналов связи с шумами. Кодирование при наличии помех	18	9	6	15	3
Тема 3. Основы помехоустойчивого кодирования	17	9	5	14	3
Тема 4. Элементы теории случайных процессов	17	9	5	14	3
Тема 5. Спектрально - корреляционный анализ случайных процессов	17	9	5	14	3
Тема 6. Элементы теории информации и кодирования	10	3	5	8	2
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	144	48	32	82	17

Содержание разделов и тем дисциплины

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью. Реализация компетентностного подхода предусматривает использование в учебном процессе следующих форм проведения занятий.

При чтении лекций используется активная форма, заключающаяся в разборе конкретных ситуаций, возникающих при анализе рассматриваемых физических явлений (анализ корректности постановки задачи, выявление физического смысла полученного результата).

Используются следующие интерактивные формы проведения занятий:

- Предоставление студентам адресов необходимых Интернет–ресурсов.
- Обмен со студентами адресами электронной почты для обеспечения оперативного взаимодействия.
- Отправка студентам электронных писем, содержащих необходимые образовательные ресурсы (материалы к лекциям, персональные задания к зачёту).
- Предоставление студентам возможности обсуждения проблем, возникающих при освоении дисциплины, с использованием сети Интернет.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных занятий и в конце курса при проведении экзамена по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

- во время лекций формулируются проблемы, которые студенты должны решить самостоятельно. На последующих лекциях проводится открытое обсуждение полученных результатов и даётся правильное решение.
- задания для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

выдаются студентам заранее. В случае необходимости проводятся индивидуальные консультации

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

Вопросы для собеседования соответствуют вопросам для промежуточной аттестации (контрольные вопросы к экзамену)

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Превосходная подготовка с очень незначительными погрешностями ИЛИ Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с некоторыми ошибками ИЛИ В целом хорошая подготовка с рядом заметных ошибок ИЛИ Хорошая подготовка, но со значительными ошибками ИЛИ Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям
не зачтено	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания ИЛИ Подготовка совершенно недостаточная

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

Задача 1.

На вход квадратичного детектора $y=ax^2$ подается гауссовский случайный процесс $x(t)$ с корреляционной функцией

$$K_x[\tau] = \sigma_x^2 e^{-\frac{|\tau|}{\tau_0}} \cos(\omega_0 \tau)$$

Найти корреляционную функцию, спектральную плотность мощности и одномерную плотность вероятности на выходе детектора.

Задача 2

На вход квадратичного детектора $y=a\xi^2$ поступает узкополосный амплитудно-модулированный сигнал

$$\xi(t) = A[1+x(t)]\cos(\omega_0 t + \varphi)$$

фаза которого – случайная величина, равномерно распределенная в интервале $[-\pi; \pi]$. Найти корреляционную функцию и спектральную плотность мощности сигнала на выходе

квадратичного детектора, считая, что $x(t)$ – стационарный гауссов процесс с нулевым средним значением и корреляционной функцией $K_x[\tau] = \sigma_x^2 e^{-\alpha|\tau|}$ ($x(t)$ и φ – статистически независимы).

Задача 4

Постоянный сигнал m на выходе приемника маскируется аддитивным стационарным гауссовым шумом: $x(t) = \lambda m + \xi(t)$. Вероятность наличия сигнала ($\lambda=1$) равна p , а отсутствия ($\lambda=0$) – $q=1-p$. Производится N выборок выходного процесса через одинаковый интервал Δt , превышающий время корреляции шума. Найти алгоритм обработки отсчетов, минимизирующий полную вероятность ошибки обнаружения сигнала. Проанализировать, как зависит минимальная вероятность ошибки $P_{ош}$ от таких параметров, как N , σ_ξ , m , положив $P=0,5$ (m – известная детерминированная константа).

Задача 5

Случайный процесс $x(t)$ представляет собой сумму квадратурных составляющих:
 $x(t) = A_c(t) \cos \omega_0 t + A_s(t) \sin \omega_0 t$

где $A_c(t)$ и $A_s(t)$ – статистически независимые гауссовы случайные процессы с равными нулю средними значениями и с одинаковыми дисперсиями σ^2 . Этот же случайный процесс может быть записан в следующем виде:

$x(t) = A(t) \cos[\omega_0 t - \varphi(t)]$, где φ – случайная начальная фаза процесса $x(t)$, $A = \sqrt{A_s^2 + A_c^2}$ – случайная амплитуда.

Найти вероятностные распределения

а) случайного процесса $x(t)$

б) случайной амплитуды A

в) случайной начальной фазы φ

Задача 6

На вход нелинейного безынерционного элемента с характеристикой

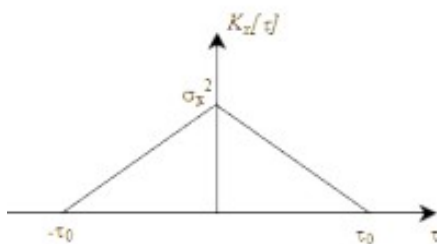
$$y = 2x \cdot 1(x) = \begin{cases} 2x, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

подается случайный телеграфный процесс, принимающий два значения $+a$, $-a$ с равной вероятностью. Смена знака происходит в случайные моменты времени. Вероятность того, что на временном интервале длительности T произойдет ровно m смен знаков описывается законом Пуассона и равна

$$P(m, T) = \frac{(\lambda T)^m}{m!} e^{-\lambda T}$$

Найти корреляционную функцию и спектральную плотность мощности процесса на выходе.

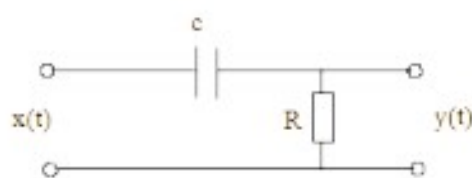
Задача 7



На вход экспоненциального детектора $y(t) = \exp(ax)$, подается гауссовский шум с корреляционной функцией $K_x[\tau]$, показанной на рисунке. Найти спектральную плотность мощность этого шума. Вычислить корреляционную функцию процесса $y(t)$ на выходе экспоненциального детектора

Задача 8

На вход дифференцирующей цепочки (см. рис) подается стационарный шум $x(t)$ с известной корреляционной функцией $K_x[\tau]$ и спектром $S_x(\omega)$. Найти спектр и корреляционную функцию на выходе цепочки. В качестве примера рассмотреть



случай $K_x[\tau] = \sigma_x^2 e^{-\frac{|\tau|}{\tau_0}}$

и определить условия, при которых цепочка действительно дифференцирует входной процесс, т.е.

$$y(t) \approx \dot{x}(t)$$

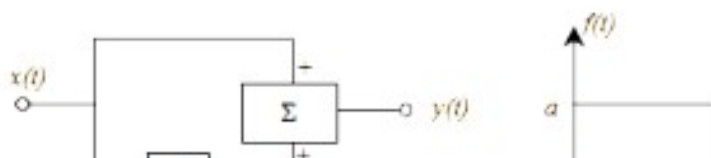
Задача 9

Пусть $x(t)$ – стационарный гауссовский процесс с заданной корреляционной функцией

$K_x[\tau] = \sigma_x^2 e^{-\frac{|\tau|}{\tau_0}} + \langle x \rangle^2$. Найти функцию корреляции $K_{\dot{x}}[\tau]$ и спектральную плотность мощности производной $\dot{x}(t)$. Проанализировать одномерную плотность вероятности производной.

Задача 10

На вход цепочки (рис. 1) поступает пуассоновский импульсный случайный процесс (форма элементарного импульса дана на рис.2). Найти и сравнить корреляционные функции и



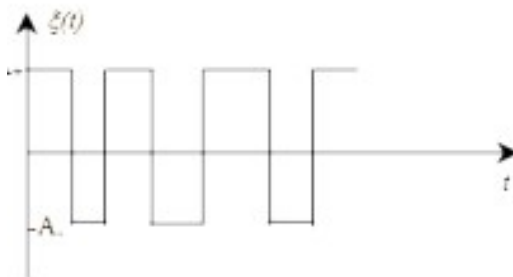
спектральные плотности мощности на входе и выходе цепочки. (Амплитуды входных импульсов считать постоянной)

Задача 12

На вход квадратичного детектора $\eta=\xi^2$ поступает телеграфный сигнал $\xi(t)$, принимающий в случайные моменты времени значения $\xi=A_+$ и $\xi=A_-$ с равной вероятностью (см. рис). Вероятность того, что на интервале времени длительностью $|\tau|$ значение $\xi(t)$ изменится N раз, описывается законом Пуассона, т.е.

$$P(N, |\tau|) = \frac{(\lambda |\tau|)^N}{N!} e^{-\lambda |\tau|}$$

где λ – среднее число изменений значения $\xi(t)$ в единицу времени. Найти корреляционные функции и спектральные плотности мощности процессов на входе и выходе квадратичного детектора. Рассмотреть отдельно частный случай $\xi=A_+=A_-$



Задача 13

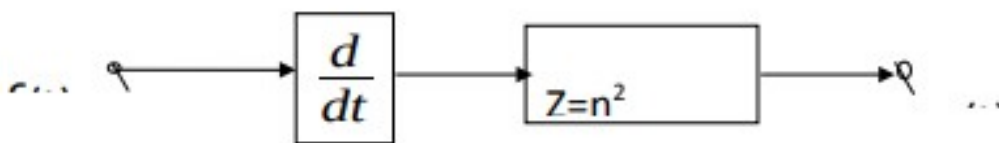
Скорость частицы претерпевает случайные изменения около среднего значения V_0 . Считая флуктуации $\xi(t)$ стационарным случайным процессом с $\langle \xi \rangle = 0$, вычислить среднеквадратичное значение флуктуаций $r(t)=x(t)-\langle x \rangle$ координаты $x(t)$ частицы в момент времени t , спектральную плотность мощности флуктуаций скорости $S_{\xi}(t)$ считать известной; принять, что $x=0$ при $t=0$. Рассмотреть асимптотическое поведение частицы при $t \gg \tau_{кор}$ ($\tau_{кор}$ - время корреляции $\xi(t)$).

Задача 14

На вход системы, блок-схема которой приведена на рисунке, поступает нормальный стационарный процесс с функцией корреляции:

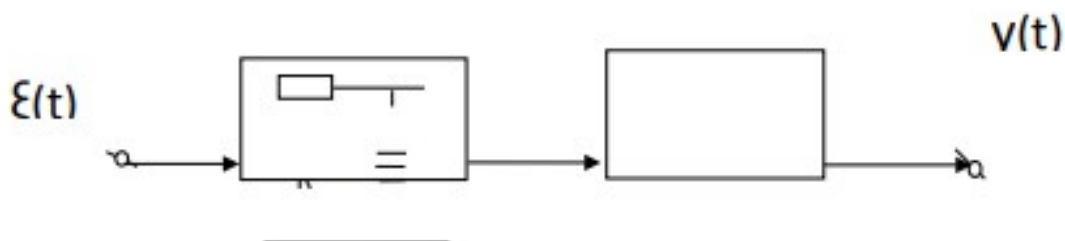
$$K_{\xi}(\tau) = \sigma_{\xi}^2 e^{-\tau^2/\tau_0^2}$$

Найти корреляционную функцию на выходе системы и спектральную плотность мощности на входе дифференцирующего звена.



Задача 15

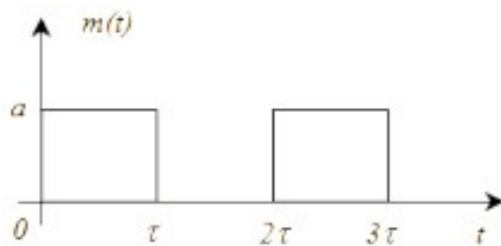
На входе последовательно соединенных RC -цепочки и квадратичного детектора $y=ax^2$ поступает "белый" гауссовский шум $\xi(t)$ (см. рис.). Найти среднее значение, дисперсию и корреляционную функцию процесса на выходе.



Задача 16

На вход фильтра, согласованного с сигналом $m(t)$ (см. рис.), поступает аддитивная смесь сигнала и "белого" шума $x(t) = m(t) + \zeta(t)$ ($K_{\zeta}[\tau] = D_{\zeta}\delta(\tau)$).

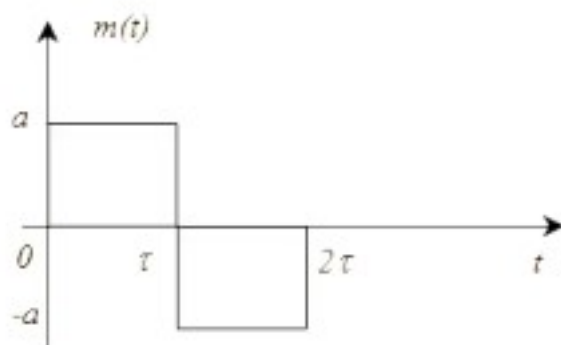
Найти импульсную переходную характеристику, отклик на полезный сигнал, корреляционную функцию шумовой составляющей на выходе, отношение сигнал/шум на выходе и предложить схему реализации фильтра.



Задача 17

На вход фильтра, согласованного с сигналом $m(t)$ (см. рис.), поступает аддитивная смесь сигнала и "белого" шума $x(t) = m(t) + \zeta(t)$ ($K_{\zeta}[\tau] = D_{\zeta}\delta(\tau)$).

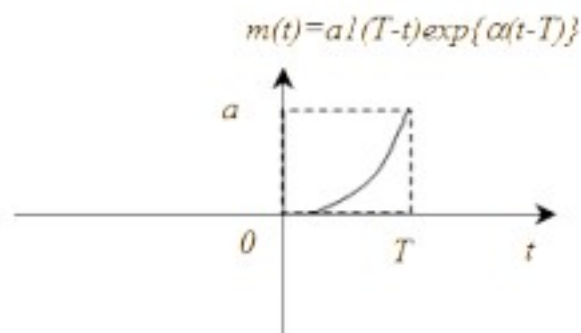
Найти импульсную переходную характеристику, отклик на полезный сигнал, корреляционную функцию шумовой составляющей на выходе, отношение сигнал/шум на выходе и предложить схему реализации фильтра.



Задача 18

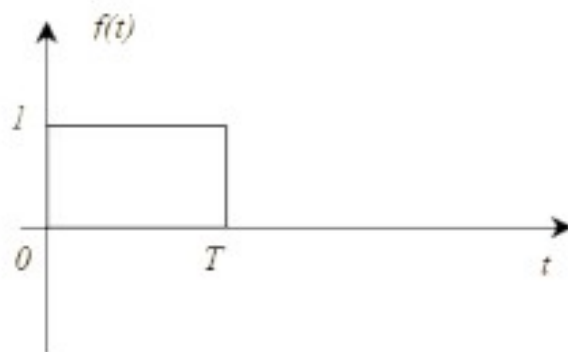
На вход фильтра, согласованного с сигналом $m(t)$ (см. рис.), поступает аддитивная смесь сигнала и "белого" шума $x(t) = m(t) + \zeta(t)$ ($K_{\zeta}[\tau] = D_{\zeta} \delta(\tau)$).

Найти импульсную переходную характеристику, отклик на полезный сигнал, корреляционную функцию шумовой составляющей на выходе, отношение сигнал/шум на выходе и предложить схему реализации фильтра.



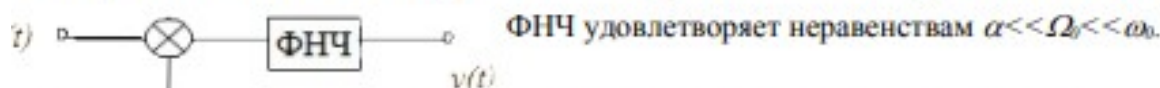
Задача 19

Найти общее выражение для спектра мощности и корреляционной функции процесса на выходе интегрирующей RC – цепочки, на вход которой подается пуассоновский импульсный случайный процесс (форма элементарного импульса $f(t)$ показана на рисунке). Проанализировать эти выражения в предельных случаях $T \ll RC$, $T \gg RC$.



Задача 21

Рассматривается система*, состоящая из перемножителя и фильтра низкой частоты (ФНЧ), где A_0 , ω_0 , φ_0 – постоянные амплитуда, частота и фаза местного гетеродина, а полоса пропускания Ω_0

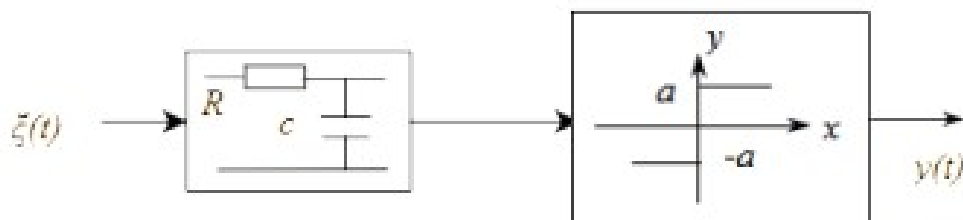


На вход системы подается узкополосный случайный процесс $x(t)$ с корреляционной функцией $K_x[\tau] = \sigma_x^2 e^{-\alpha|\tau|} \cos(\omega_0 \tau)$, где $\alpha \ll \omega_0$. Найти спектральную плотность мощности на выходе системы S_y .

*Такого вида системы используются для приема и передачи информации.

Задача 23

На вход последовательно соединенных RC – цепочки и симметричного ограничителя $y = 2a \cdot I(x) - a$ поступает «белый» гауссовский шум $\xi(t)$. Найти одномерную плотность вероятности и



Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Превосходная подготовка с очень незначительными погрешностями ИЛИ Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с некоторыми ошибками ИЛИ В целом хорошая подготовка с рядом заметных ошибок ИЛИ Хорошая подготовка, но со значительными ошибками ИЛИ Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям
не зачтено	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания ИЛИ Подготовка совершенно недостаточная

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в

	ответа		Выполнены все задания, но не в полном объеме	ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Раздел 1. Математические модели дискретных систем передачи информации.

1.1 Энтропия дискретных систем.

1. Энтропия как мера степени неопределенности случайной системы. Основные свойства энтропии.
2. Теорема о максимальном значении энтропии. Энтропия сложной системы, частная и полная
3. Теорема сложения энтропий для зависимых подсистем

Раздел 3. Элементы теории случайных процессов.

3.1. Определение и вероятностное описание случайного процесса.

Понятие статистического ансамбля. Вероятностное описание случайного процесса с помощью многомерных плотностей вероятностей. Основные свойства многомерных плотностей вероятностей. Условные плотности вероятностей, их свойства и связь с многомерными безусловными плотностями вероятностей.

3.2. Классификация случайных процессов по их вероятностному последствию.

Совершенно случайные процессы, марковские процессы и их описание. Уравнение Смолуховского для условной плотности вероятности марковского процесса. Квазидетерминированные случайные процессы.

3.5. Стационарные и эргодические случайные процессы.

Понятие стационарности в узком и широком смысле. Усреднение по статистическому ансамблю и по времени. Эргодичность случайных процессов. Необходимые и достаточные условия эргодичности по отношению к среднему значению, корреляционной функции, одномерной плотности вероятности. Экспериментальное измерение основных статистических характеристик эргодических случайных процессов.

3.6. Совокупности случайных процессов.

Общее описание совокупности двух случайных процессов. Статистическая независимость случайных процессов. Взаимные корреляционные и ковариационные функции. Стационарность, эргодичность, гауссовость совокупности двух случайных процессов.

Раздел 5. Элементы теории оптимальной обработки сигналов.

5.1 Классификация задач оптимальной обработки сигналов.

Статистическая модель канала связи. Оптимальное обнаружение, различение, измерение параметров, фильтрация сигналов.

5.2. Оптимальное обнаружение сигналов при дискретных наблюдениях.

Двухальтернативная постановка задачи. Критерий идеального наблюдателя. Отношение правдоподобия. Структурная схема оптимального обнаружителя. Другие критерии оптимальности. Обнаружение детерминированного полезного сигнала на фоне гауссовских помех.

5.3. Оптимальное обнаружение сигналов при непрерывных наблюдениях.

Функционал отношения правдоподобия. Случай обнаружения детерминированного сигнала на фоне белого гауссовского шума. Корреляционный приемник. Согласованный фильтр. Отношение сигнал/шум на выходе согласованного фильтра. Анализ эффективности оптимального обнаружителя.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-2

Раздел 2. Математические модели непрерывных систем передачи информации.

2.1. Энтропийные характеристики непрерывных случайных величин.

1. Дифференциальная (относительная) энтропия.
2. Частная и полная условные энтропии. Дифференциальная энтропия системы случайных величин.
3. Принцип максимума энтропии. Экстремальные распределения.

Раздел 3. Элементы теории случайных процессов.

3.3. Многомерные характеристические, моментные и кумулянтные функции случайного процесса.

Характеристическая функция, определение и свойства. Моментные и кумулянтные функции, их взаимосвязь. Корреляционная и ковариационная функции случайного процесса. Коэффициент корреляции.

3.4. Гауссовские случайные процессы.

Многомерная характеристическая функция и плотность вероятностей гауссовского процесса. Информация необходимая для полного описания гауссовского случайного процесса. Ковариационная матрица отсчетов случайного процесса. Основные свойства гауссовских случайных процессов.

Раздел 4. Спектрально - корреляционный анализ случайных процессов.

4.1 Корреляционные функции.

Свойства корреляционных функций нестационарных и стационарных случайных процессов. Среднее значение и корреляционная функция производной и интегрального преобразования от случайного процесса.

4.2. Спектрально-корреляционный анализ сигналов 1-ой группы с конечной энергией.

Спектральная плотность энергии, функция корреляции первого рода и их свойства. Преобразование сигналов первой группы линейными системами.

4.3. Спектрально-корреляционный анализ сигналов II-ой группы с конечной мощностью. Спектральная плотность мощности. Соотношение между спектральной плотностью мощности и корреляционной функцией для стационарных случайных процессов (формула Винера-Хинчина). Спектральная плотность мощности нестационарных сигналов II-ой группы. Функция корреляции второго рода. Ширина спектра случайного процесса, ее связь со временем корреляции. Узкополосные случайные процессы. Амплитуда и фаза случайного процесса. Представление узкополосного случайного процесса с помощью квадратурных компонент. Преобразование сигналов II-ой группы линейными системами. Приближение "белого" шума.

4.4. Совместные (взаимные) спектральные плотности энергии и мощности случайных процессов.

Взаимные функции корреляции первого и второго рода. Взаимные спектры, синфазная и квадратурная составляющие взаимных спектров. Взаимная спектральная плотность мощности входа и выхода линейной системы, выходных сигналов двух линейных систем. Основные неравенства для взаимных

спектров. Функция когерентности. Применение взаимных корреляционных функций и спектров для определения источников шума и каналов его распространения.

4.5. Спектрально-корреляционный анализ нелинейных преобразованных случайных процессов.

Спектрально-корреляционный анализ нелинейных безынерционных преобразований (НБП) случайных гауссовских процессов. Выражение корреляционной функции выходного процесса в виде ряда по ковариационной функции входного процесса. Взаимная корреляционная и ковариационная функции входа и выхода НБП.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Превосходная подготовка с очень незначительными погрешностями
отлично	Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с некоторыми ошибками
очень хорошо	В целом хорошая подготовка с рядом заметных ошибок
хорошо	Хорошая подготовка, но со значительными ошибками
удовлетворительно	Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям
неудовлетворительно	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания
плохо	Подготовка совершенно недостаточная

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Сборник задач по статистической радиофизике : учеб. пособие / Горьк. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Горький : [б. и.], 1988. - 74 с. - 0.15., 163 экз.
2. Рытов Сергей Михайлович. Введение в статистическую радиофизику : учеб. для вузов. Ч. 1. Случайные процессы. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Наука, 1976. - 494 с. : рис. - 1.25., 125 экз.
3. Тихонов Василий Иванович. Статистическая радиотехника. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1982. - 624 с. : ил. - 2.90., 95 экз.
4. Левин Борис Рувимович. Теоретические основы статистической радиотехники. Кн. 3. - М. : Советское радио, 1976. - 288 с. - 1.37., 30 экз.

Дополнительная литература:

1. Зачепиская Лариса Петровна. Измерение простейших характеристик случайных процессов : [учеб. пособие] / Горьк. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Горький : ГГУ, 1986. - 67 с. : ил. - 0.15., 188 экз.
2. Малахов Аскольд Николаевич. Спектрально-корреляционный анализ случайных процессов : учеб. пособие / Горьк. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского, Радиофиз. фак. - Горький : [б. и.], 1979. - 91 с. - 0.22., 54 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

-

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Мальцев Александр Александрович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Мальцев Александр Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 года, протокол № 09/23.