

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Кафедра радиотехнических систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) И.С. Огнев

«23» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины  
**«Статистическая теория радиотехнических систем»**

Направление подготовки  
«11.03.01 Радиотехника»

Направленность (профиль)  
«00 Радиотехника»

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «18» апреля 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол № 5 от «25» апреля 2023 года

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Статистическая теория радиотехнических систем» является изучение статистических методов анализа и синтеза радиотехнических систем и устройств различного назначения. Данный курс вырабатывает у студентов навыки использования аппарата статистической теории для анализа конкретных моделей радиотехнических систем.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Статистическая теория радиотехнических систем» (Б1.В.02) относится к вариативной части Блока 1 раздела «Часть, формируемая участниками образовательных отношений».

Для освоения данной дисциплиной студенты должны владеть математическим аппаратом векторного и матричного анализа, линейной алгебры, дифференциального исчисления, уметь решать основные типы дифференциальных уравнений, знать специальные функции и их свойства, знать основы теории вероятностей и математической статистики, иметь представление об основных понятиях радиотехники.

Полученные в курсе «Статистическая теория радиотехнических систем» знания необходимы для изучения дисциплины «Радиотехнические системы», а также для продолжения обучения в магистратуре по направлению Радиотехника.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ООП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Профессиональные компетенции</b>		
<b>ПК-1.</b> Способен осуществлять сбор и обработку исходных данных для решения поставленных задач профессиональных задач в области радиотехники, осуществлять поиск, анализ и выбор методов их решения.	<b>ИД_ПК-1.1</b> Осуществляет сбор и обработку исходных данных для решения поставленных профессиональных задач	<b>Знать:</b> - основы теории обнаружения, различения, разрешения и оценки параметров сигналов, используемых в радиотехнических системах; - принципы построения и характеристики радиотехнических систем: радиолокационных, радионавигационных, систем передачи информации, радиопротиводействия и др. <b>Уметь:</b> - выполнять расчёт и проектирование деталей, узлов и устройств радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования; <b>Владеть навыками:</b> - расчёта характеристик устройств обнаружения, различения, разрешения и оценки параметров сигналов для различных помех; - расчёта и проектирования деталей, узлов и устройств радиотехнических систем с использованием средств автоматизации проектирования;

	<b>ИД_ПК-1.2</b> Проводит анализ и обоснованный выбор методов решения профессиональных задач в области радиотехники	<b>Уметь:</b> – выполнять выбор технических и программных средств экспериментальных исследований, обработку результатов; <b>Владеть навыками:</b> – реализации программ экспериментальных исследований и обработки результатов.
--	--	--

#### 4. Объём, структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет **3** зачёт. ед., **108** акад. час.

п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоёмкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации (по семестрам)  Формы ЭО и ДОТ (при наличии)
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Введение в дисциплину. Краткая историческая справка. Статистическое описание сигналов, сообщений и помех.	7	1	1				2	Задания для самостоятельной работы Самостоятельная работа №1
2	Основы теории статистических решений. Основные понятия и определения	7	1	2				1	Задания для самостоятельной работы. Самостоятельная работа №2
3	Обнаружение сигналов. Постановка задачи обнаружения.	7	2	2				4	Задания для самостоятельной работы. Самостоятельная работа №3
4	Оптимальная согласованная фильтрация сигналов.	7	2	2		1		4	Задания для самостоятельной работы, Самостоятельная работа №4
5	Оптимальное оценивание параметров сигналов	7	2	2				4	Задания для самостоятельной работы. Самостоятельная работа №5
6	Оптимальная линейная фильтрация информационных процессов	7	1	2		1		4	Задания для самостоятельной работы. Самостоятельная работа №6

п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоёмкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации (по семестрам)  Формы ЭО и ДОТ (при наличии)
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
7	Оптимальная нелинейная фильтрация информационных процессов	7	2	2				4	Задания для самостоятельной работы, Самостоятельная работа №7
8	Различение и разрешение сигналов	7	2	2				4	Задания для самостоятельной работы, Самостоятельная работа №8
9	Адаптивная фильтрация сообщений	7	2			1		4	Задания для самостоятельной работы, Самостоятельная работа №9
10	Оптимальная фильтрация при приёме пространственно-временных сигналов	7	2	2				4	Задания для самостоятельной работы
	Консультация перед экзаменом	7				2			
	Промежуточная аттестация	7					0,5	33,5	Экзамен
	в том числе с ЭО и ДОТ						0,5		Тест для самопроверки (проводится в ЭУК «Статистическая теория радиотехнических систем» в LMS Moodle)
	ИТОГО	7	17	17		5	0,5	68,5	108
	в том числе с ЭО и ДОТ	7							

#### Содержание разделов дисциплины:

1. **Введение. Статистическое описание сигналов, сообщений и помех.** Основные понятия теории вероятности. Вероятностное описание случайных величин. Условные функции распределения и плотности вероятности случайных величин. Многомерные случайные величины. Случайные процессы. Гауссовские случайные процессы. Марковские случайные процессы. Статистические модели сигналов. Статистические модели сообщений. Статистические модели помех.

2. **Основы теории статистических решений.** Общие понятия. Решения. Функция потерь. Обобщенная функция потерь. Функция риска. Оптимальные решения. Оптимальные решения при наличии случайных неинформативных параметров сигнала. Оптимальные решения при наличии случайных параметров сообщения.

3. **Обнаружение сигналов.** Постановка задачи обнаружения. Обнаружение

детерминированного сигнала. Байесовское решение. Простая и обобщенная функции потерь. Небайесовское решение. Критерий Неймана-Пирсона. Отношение правдоподобия. Структура оптимального обнаружителя. Обнаружение сигнала со случайными параметрами. Обнаружение сигнала на фоне негауссовских помех. Обнаружение пространственно-временного сигнала.

4. **Оптимальная согласованная фильтрация сигналов.** Общие положения теории согласованной фильтрации сигналов. Согласованный фильтр для когерентной пачки радиоимпульсов. Согласованный фильтр для когерентной пачки радиоимпульсов с фазовой манипуляцией.

5. **Оптимальное оценивание параметров сигналов.** Постановка задачи оценки параметров сигнала. Решение задачи оптимального оценивания параметров сигнала на основе теории статистических решений. Оценка максимального правдоподобия. Свойства оценок максимального правдоподобия. Свойства оценок случайных параметров. Граница Рао-Крамера для оценки случайного параметра. Оценка параметров сигнала, принимающих дискретные значения. Оценка параметров сигнала с непрерывной областью значений. Потенциальная точность оценок параметров сигнала. Оценка параметров сигнала по наблюдениям дискретной выборки. Оценка информативных параметров сигнала при наличии случайных неинформативных параметров.

6. **Оптимальная линейная фильтрация информационных процессов.** Основные положения теории фильтрации случайных процессов. Постановка задачи фильтрации случайных процессов. Уравнение для апостериорной плотности вероятности (АПВ) непрерывных процессов. Рекуррентное уравнение для АПВ дискретных процессов. Общие уравнения оптимальной линейной фильтрации непрерывных процессов. Синтез сглаживающих фильтров следящих измерителей. Оптимальный фильтр Винера. Рекуррентные алгоритмы оптимальной дискретной линейной фильтрации. Цифровой рекурсивный фильтр Винера. Цифровой нерекурсивный фильтр Винера. Непрерывный одномерный фильтр Калмана. Непрерывный многомерный фильтр Калмана. Цифровой фильтр Калмана. Цифровой многомерный фильтр Калмана. Оптимальная линейная экстраполяция и интерполяция.

7. **Оптимальная нелинейная фильтрация информационных процессов.** Постановка задачи нелинейной фильтрации случайных процессов. Уравнение оптимальной нелинейной фильтрации в гауссовском приближении. Дискриминатор и сглаживающий фильтр в оптимальной следящей системе. Уравнение дискретной нелинейной фильтрации в гауссовском приближении. Оптимальная нелинейная фильтрация при случайных неинформативных параметрах сигнала. Расширенный фильтр Калмана.

8. **Различение и разрешение сигналов.** Постановка задачи при различении и разрешении сигналов. Структура оптимального различителя. Различение двух детерминированных сигналов. Различение двух квазидетерминированных сигналов. Задача «разрешение- обнаружение сигналов». Задача «разрешение-измерение параметров сигналов». Функция неопределённости радиосигналов по задержке и по частоте. Структура устройства оптимального "разрешения-обнаружения"

9. **Адаптивная фильтрация сообщений.** Постановка задачи адаптивной фильтрации. Уравнение наблюдения. Сходимость, время, точность адаптации. Задача фильтрации дальности до цели. Точность и выигрыш в точности фильтрации. Общее решение задачи адаптивной фильтрации. Многоканальные адаптивные системы фильтрации. Алгоритмы скользящей адаптации.

10. **Оптимальная фильтрация при приеме пространственно-временных сигналов.** Общие положения. Волновые поля случайных источников радиоизлучений. Оптимальная фильтрация при приёме пространственно-временных сигналов на фоне внутренних шумов для известного направления на источник сигнала. Оптимальная фильтрация при приёме пространственно-временных сигналов на фоне внутренних шумов для неизвестного направления на источник сигнала

## **5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – даёт первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных учёных, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также даётся анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Академическая лекция** (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, чёткая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

**Практическое занятие** – занятие, посвящённое освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

На практических занятиях студенты решают поставленные перед ними задачи под руководством (контролем) преподавателя. Обсуждение процесса решения задачи и оценка правильности полученного результата (постановки задачи, выбора метода её решения, проверка полученного результата и т.д.) в ходе практического занятия производится коллективно студентами под руководством преподавателя.

**Консультации** – групповые занятия, являющиеся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы, обсуждаются результаты решения заданий, выполненных студентами самостоятельно.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

**Электронный учебный курс «Статистическая теория радиотехнических систем» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ**, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены тексты лекций по отдельным темам дисциплины;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

## **6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы MicrosoftOffice;
- издательская система LaTeX;
- Adobe Acrobat Reader.

## **7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины**

### **а) основная литература**

1. Перов, А. И., Радиоавтоматика: учебник для вузов / А. И. Перов, В. Н. Замолотчиков, В. М. Чиликин. – М., Радиотехника, 2014. – 318 с.
2. Тихонов В. П., Харисов В. Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2004. – 608 с.
3. Тихонов В. И. Случайные процессы: примеры и задачи : учеб. пособие для вузов / Тихонов В. И., Шахтарин Б. И., Сизых В. В.. Т. 1: Случайные величины и процессы. – М.: Радио и связь, 2003. – 399 с.

### **б) дополнительная литература**

1. Тихонов В. И. Случайные процессы. Примеры и задачи: учеб. пособие для вузов / В. И. Тихонов, Б. И. Шахтарин, В. В. Сизых; УМО вузов по университет. политех. образованию. Т. 3: Оптимальная фильтрация, экстраполяция и моделирование / под ред. В. В. Сизых – Б.м.: Б.и., 2004. – 407 с.
2. Тихонов, В. И., Случайные процессы. Примеры и задачи : учеб. пособие для вузов / В. И. Тихонов, Б. И. Шахтарин, В. В. Сизых. Т. 5 : Оценка сигналов, их параметров и спектров. Основы теории информации. – 2-е изд., М., Горячая линия - Телеком, 2012, 399 с.
3. Радиотехнические системы : учебник для вузов / под ред. Ю. М. Казаринова – М.: Академия, 2008. – 590 с.

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

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;

- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор:

Профессор кафедры радиотехнических систем, к. т. н.



А.Б. Силантьев

(подпись)



**Приложение № 1 к рабочей программе дисциплины  
«Статистическая теория радиотехнических систем»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущего контроля успеваемости  
и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

**Задания для самостоятельной работы**  
*(данные задания выполняются студентом самостоятельно  
и преподавателем в обязательном порядке не проверяются)*

**Задания для самостоятельной работы**

**Задания по теме № 1 «Введение. Статистическое описание сигналов, сообщений и помех»:**

1. Записать выражение плотности вероятности многомерной случайные величины.
2. Пояснить особенности статистического моделирования случайных процессов, гауссовских случайных процессов, марковских случайных процессов.
3. Пояснить особенности статистического моделирования помех.

**Задания по теме № 2 «Основы теории статистических решений»:**

1. Записать выражение для функции потерь, обобщенной функции потерь. Пояснить.
2. Пояснить особенности оптимальных решений при наличии случайных неинформативных параметров сигнала и оптимальных решений при наличии случайных параметров сообщения.

**Задания по теме № 3 «Обнаружение сигналов»:**

1. Привести и проанализировать схему оптимального обнаружителя для случая многоканального приема.
2. Пояснить структуру корреляционной матрицы помех. Записать выражение.
3. Записать выражение для весового вектора для случая согласованной пространственной обработки.

**Задания по теме № 4 «Оптимальная согласованная фильтрация сигналов»:**

1. Записать выражение для ЧХ согласованного фильтра сигнала на фоне «белого шума».
2. Записать выражение для ЧХ оптимального фильтра сигнала на фоне «небелого шума».
3. Пояснить отличие оптимальной и согласованной фильтрации.

**Задания по теме № 5 «Оптимальное оценивание параметров сигналов»:**

1. Пояснить свойства оценок максимального правдоподобия.
2. Записать выражение для потенциальной точности оценок параметров сигнала.

**Задания по теме № 6 «Оптимальная линейная фильтрация информационных процессов»:**

1. Привести и проанализировать схему цифрового рекурсивного фильтра Винера.
2. Пояснить рекуррентное уравнение для АПВ дискретных процессов.
3. Записать уравнение для апостериорной плотности вероятности (АПВ) непрерывных процессов.

**Задания по теме № 7 «Оптимальная нелинейная фильтрация информационных процессов»:**

1. Привести и проанализировать схему дискриминатора и сглаживающего фильтра в оптимальной следящей системе.
2. Записать уравнение дискретной нелинейной фильтрации в гауссовском приближении.
3. Записать выражение для расширенного фильтра Калмана.

**Задания по теме № 8 «Различение и разрешение сигналов»:**

1. Привести и проанализировать схему устройства оптимального "разрешения-обнаружения".
2. Пояснить задачу «разрешение- обнаружение сигналов», задачу «разрешение-измерение параметров сигналов».
3. Записать выражение для функции неопределенности радиосигналов по задержке и по частоте.

**Задания по теме № 9 «Адаптивная фильтрация сообщений»:**

1. Проанализировать задачу фильтрации дальности до цели. Точность и выигрыш в точности фильтрации.
2. Пояснить общее решение задачи адаптивной фильтрации.
3. Записать уравнение наблюдения. Сходимость, время, точность адаптации.

**Задания по теме № 10 «Оптимальная фильтрация при приеме пространственно-временных сигналов»:**

1. Привести и проанализировать схему оптимальной фильтрации при приеме пространственно-временных сигналов на фоне внутренних шумов для известного направления на источник сигнала
2. Пояснить структуру корреляционной матрицы помех. Записать выражение.
3. Записать выражение оптимальной фильтрации при приеме пространственно-временных сигналов на фоне внутренних шумов для неизвестного направления на источник сигнала.

**Тест для самопроверки**

**(тест проводится в ЭУК «Статистическая теория радиотехнических систем» в LMSMoodle)**

В тесте представлены задания на проверку знаний. Тест содержит теоретические и вычислительные вопросы. В тесте 20 вопросов.

Максимальный балл за правильный ответ в зависимости от сложности вопроса составляет от 2 до 4 баллов. Максимальное количество баллов, которое можно получить по итогам теста, составляет 52 балла. На каждый вопрос дается две попытки ответа, в случае правильного ответа со второго раза количество баллов за правильный ответ уменьшается в два раза по сравнению с максимально возможным.

На прохождение теста даётся 0,5 часа.

Итоги прохождения теста оцениваются по следующим правилам:

- количество набранных баллов от 46 до 52 соответствует оценке «отлично»;
- количество набранных баллов от 38 до 45 соответствует оценке «хорошо»;
- количество набранных баллов от 30 до 37 соответствует оценке «удовлетворительно»;
- количество баллов меньше 30 соответствует оценке «неудовлетворительно».

#### Примерные вопросы теста:

Вопрос 1 Критерий Неймана-Пирсона при обнаружении предполагает

- 1) максимизацию вероятности правильного обнаружения при фиксированной вероятности ложной тревоги;
- 2) максимизацию вероятности правильного обнаружения и вероятности ложной тревоги;
- 3) минимизацию вероятности ложной тревоги и вероятности правильного обнаружения.

Вопрос 2 Дальность радиосвязи в свободном пространстве  $R_o$  и мощность передатчика  $P$  связаны зависимостью (здесь  $K$  – постоянный коэффициент).

- 1) дальность радиосвязи  $R_o = \sqrt{P K}$  ;
- 2) дальность радиосвязи  $R_o = \sqrt[4]{P K}$
- 3) дальность радиосвязи  $R_o = P^2 K$

Вопрос 3 Дальность действия РЛС (обнаружения цели заданной ЭПР в свободном пространстве  $R_o$  и мощность передатчика  $P$  связаны зависимостью (здесь  $K$  – постоянный коэффициент).

- 1) дальность действия РЛС  $R_o = \sqrt{P K}$  ;
- 2) дальность действия РЛС  $R_o = \sqrt[4]{P K}$
- 3) дальность действия РЛС  $R_o = P^2 K$

Вопрос 4 Скорость манипуляции измеряется

- 1) в бодах;
- 2) в битах;
- 3) в бит/с;

Вопрос 5 В одном бодовом интервале передается:

- 1) только 1 бит информации;
- 2) количество бит определяется кратностью модуляции;
- 3) количество бит определяется разрядностью слова.

Вопрос 6 Математическая модель дискретного сообщения с независимыми элементами характеризуется:

- 1) одинаковой вероятностью появления элементов алфавита;
- 2) вероятности появления элементов алфавита независимы;
- 3) вероятности появления элементов алфавита связаны;
- 4) нет правильного ответа.

Вопрос 7 При увеличении порога  $E_0$  вероятность ошибки  $P(0/1)$  различения АМ сигналов

- 1) уменьшается
- 2) увеличивается.
- 3) не изменяется.

Вопрос 8 Девиации частоты ЧМ сигнала определяется частотами передачи «0» и «1»

- 1)  $F_c = |f_I - f_o|;$
- 2)  $F_c = 0,5 |f_I - f_o|;$
- 3)  $F_c = F_{mod};$

**Правильные ответы**

Вопрос №	Вариант ответа		Вопрос №	Вариант ответа
<b>1</b>	1		<b>5</b>	2
<b>2</b>	1		<b>6</b>	2
<b>3</b>	2		<b>7</b>	3
<b>4</b>	1		<b>8</b>	2

### **Самостоятельная работа № 1**

*(проверка сформированности ПК-1, индикатор ИД-ПК-1.1)*

Подготовить реферат или краткое сообщение на тему: Условные функции распределения и плотности вероятности случайных величин. В чём суть многомерных случайных величин? В чём суть марковских случайных процессов? Особенности гауссовских случайных процессов?

### **Самостоятельная работа № 2**

*(проверка сформированности ПК-1, индикатор ИД-ПК-1.2)*

В среде MATLAB создать программу для получения случайных чисел, распределённых по заданному закону, методом кусочной аппроксимации.

### **Самостоятельная работа № 3**

*(проверка сформированности ПК-1, индикатор ИД-ПК-1.1)*

Подготовить реферат или краткое сообщение на тему: Оптимальные решения при наличии случайных неинформативных параметров сигнала. В чём суть оптимальных решений при наличии случайных параметров сообщения? Особенности оптимальных решений при наличии случайных неинформативных параметров сигнала.

### **Самостоятельная работа № 4**

*(проверка сформированности ПК-1, индикатор ИД-ПК-1.1)*

Подготовить реферат или краткое сообщение на тему: Отношение правдоподобия. Структура оптимального обнаружителя. В чём суть байесовского и небайесовского решения? Особенности обнаружения сигнала на фоне негауссовских помех, обнаружения пространственно-временного сигнала.

### **Самостоятельная работа № 5**

*(проверка сформированности ПК-1, индикатор ИД-ПК-1.2)*

В среде MATLAB создать программу моделирования для получения кривых обнаружения для флуктуирующих сигналов, имеющих  $m$ -распределение Накагами.

### **Самостоятельная работа № 6**

*(проверка сформированности ПК-1, индикатор ИД-ПК-1.1)*

Подготовить реферат или краткое сообщение на тему: Согласованный фильтр для когерентной пачки радиоимпульсов. Согласованный фильтр для когерентной пачки радиоимпульсов с фазовой манипуляцией. В чём суть согласованной фильтрации сигналов?

### **Самостоятельная работа № 7**

*(проверка сформированности ПК-1, индикатор ИД-ПК-1.1)*

Подготовить реферат или краткое сообщение на тему: Решение задачи оптимального оценивания параметров сигнала на основе теории статистических

решений. В чём суть оценок максимального правдоподобия? В чём суть оценки параметров сигнала, принимающих дискретные значения? Особенности оценки информативных параметров сигнала при наличии случайных неинформативных.

### **Самостоятельная работа № 8**

*(проверка сформированности ПК-1, индикатор ИД-ПК-1.1)*

Подготовить реферат или краткое сообщение на тему: Уравнение для апостериорной плотности вероятности (АПВ) непрерывных процессов. Рекуррентное уравнение для АПВ дискретных процессов. Общие уравнения оптимальной линейной фильтрации непрерывных процессов.

В чём суть цифрового нерекурсивного фильтра Винера? В чём суть непрерывного одномерного фильтра Калмана? Особенности цифрового фильтра Калмана?

### **Самостоятельная работа № 9**

*(проверка сформированности ПК-1, индикатор ИД-ПК-1.1)*

Подготовить реферат или краткое сообщение на тему: Постановка задачи при различении и разрешении сигналов. Структура оптимального различителя. Различение двух детерминированных сигналов.

В чём суть задачи «разрешение-измерение параметров сигналов»? В чём суть задачи «разрешение-обнаружение сигналов»? Особенности функции неопределенности радиосигналов по задержке и по частоте?

### **Самостоятельная работа № 10**

*(проверка сформированности ПК-1, индикатор ИД-ПК-1.1)*

Подготовить реферат или краткое сообщение на тему: Алгоритмы скользящей адаптации. Точность и выигрыш в точности фильтрации. В чем суть задачи фильтрации дальности до цели? В чём суть марковских случайных процессов? Особенности многоканальных адаптивных систем фильтрации гауссовских случайных процессов?

### **Самостоятельная работа № 11**

*(проверка сформированности ПК-1, индикатор ИД-ПК-1.1)*

Подготовить реферат или краткое сообщение на тему: Оптимальная фильтрация при приёме пространственно-временных сигналов на фоне внутренних шумов для известного направления на источник сигнала.

#### Правила выставления оценки по результатам самостоятельной работы:

Оценка по результатам самостоятельной работы считается в баллах по следующему принципу: правильно выполненное задание № 1...9 – 2 балла.

Каждое из заданий может быть оценено половиной заявленных по нему баллов, в случае, когда реферат не полностью раскрывает содержание вопросов, содержит фактические ошибки.

Полностью неправильно выполненное задание (авторство задания вызывает вопросы) – 0 баллов.

Максимальное количество баллов по итогам самостоятельной работы (5 заданий) – 10 баллов,

Набранное количество баллов от 9-10 соответствует оценке «отлично», 7-8 баллов – оценке «хорошо», 5-6 баллов – оценке «удовлетворительно», менее 5 баллов – оценке «неудовлетворительно» (умения на данном этапе освоения дисциплины не сформированы).

## 2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

### Список вопросов к экзамену:

1. Вероятностное описание случайных величин.
2. Условные функции распределения и плотности вероятности случайных величин.
3. Многомерные случайные величины.
4. Гауссовские случайные процессы.
5. Марковские случайные последовательности.
6. Марковские случайные цепи.
7. Непрерывно-значные Марковские процессы.
8. Статистические модели сигналов.
9. Статистические модели сообщений.
10. Статистические модели помех.
11. Основы теории статистических решений. Общие понятия. Функция потерь. Обобщенная функция потерь. Функция риска.
12. Оптимальные решения при наличии случайных неинформативных параметров сигнала.
13. Оптимальные решения при наличии случайных параметров сообщения.
14. Обнаружение сигналов. Постановка задачи обнаружения.
15. Обнаружение детерминированного сигнала. Байесовское решение. Простая и обобщенная функции потерь.
16. Небайесовское решение. Критерий Неймана-Пирсона.
17. Отношение правдоподобия. Структура оптимального обнаружителя.
18. Обнаружение сигнала со случайными параметрами.
19. Обнаружение сигнала на фоне негауссовских помех.
20. Обнаружение пространственно-временного сигнала.
21. Общие положения теории согласованной фильтрации сигналов.
22. Согласованный фильтр для когерентной пачки радиоимпульсов.
23. Согласованный фильтр для когерентной пачки радиоимпульсов с фазовой манипуляцией.
24. Оптимальное оценивание параметров сигналов. Постановка задачи.
25. Решение задачи оптимального оценивания параметров сигнала на основе теории статистических решений.
26. Оценка максимального правдоподобия. Свойства оценок максимального правдоподобия.
27. Свойства оценок случайных параметров.
28. Граница Рао-Крамера для оценки случайного параметра.
29. Оценка параметров сигнала, принимающих дискретные значения.
30. Оценка параметров сигнала с непрерывной областью значений.
31. Потенциальная точность оценок параметров сигнала.
32. Оценка параметров сигнала по наблюдениям дискретной выборки.
33. Оценка информативных параметров сигнала при наличии случайных неинформативных параметров.
34. Оптимальная линейная фильтрация информационных процессов. Основные положения.
35. Уравнение для апостериорной плотности вероятности (АПВ) непрерывных процессов.
36. Рекуррентное уравнение для АПВ дискретных процессов.
37. Общие уравнения оптимальной линейной фильтрации непрерывных процессов. Оптимальный фильтр Винера.
38. Рекуррентные алгоритмы оптимальной дискретной линейной фильтрации.
39. Цифровой рекурсивный фильтр Винера.
40. Цифровой нерекурсивный фильтр Винера.
41. Непрерывный одномерный фильтр Калмана.
42. Непрерывный многомерный фильтр Калмана.
43. Цифровой фильтр Калмана.
44. Цифровой многомерный фильтр Калмана.
45. Оптимальная линейная экстраполяция и интерполяция.



46. Оптимальная нелинейная фильтрация информационных процессов. Постановка задачи.
47. Уравнение оптимальной нелинейной фильтрации в гауссовском приближении.
48. Дискриминатор и сглаживающий фильтр в оптимальной следящей системе.
49. Уравнение дискретной нелинейной фильтрации в гауссовском приближении.
50. Оптимальная нелинейная фильтрация при случайных неинформативных параметрах сигнала.
50. Расширенный фильтр Калмана.
51. Различение сигналов. Структура оптимального различителя.
52. Различение двух детерминированных сигналов.
53. Различение двух квазидетерминированных сигналов.
54. Функция неопределенности радиосигналов по задержке и по частоте.
55. Структура устройства оптимального "разрешения-обнаружения"
56. Адаптивная фильтрация сообщений. Постановка задачи адаптивной фильтрации. Уравнение наблюдения.
57. Адаптивная фильтрация сообщений. Сходимость, время, точность адаптации.
58. Общее решение задачи адаптивной фильтрации.
59. Многоканальные адаптивные системы фильтрации. Алгоритмы скользящей адаптации.
60. Оптимальная фильтрация при приеме пространственно-временных сигналов. Общие положения.

### **Правила выставления оценки на экзамене.**

В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу дается не менее 0,5 часа.

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

**Оценка «Отлично»** выставляется студенту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом учебной дисциплины; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Студент даёт развернутые, полные и чёткие ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует терминологию учебной дисциплины.

**Оценка «Хорошо»** выставляется студенту, ответ которого на экзамене в целом соответствует указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

**Оценка «Удовлетворительно»** выставляется студенту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагаются в терминах учебной дисциплины, но при этом допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

**Оценка «Неудовлетворительно»** выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при

определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; даёт неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или даёт неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется также студенту, который взял экзаменационный билет, но отвечать отказался.

## **Приложение № 2 к рабочей программе дисциплины «Статистическая теория радиотехнических систем»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Статистическая теория радиотехнических систем» являются лекции, причём в достаточно большом объёме. Это связано с тем, что в основе дисциплины лежит специальный математический аппарат, с помощью которого «Статистическая теория радиотехнических систем» позволяет решать довольно сложные и громоздкие задачи. По большинству тем предусмотрены практические занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путём применения его к конкретным задачам и отработка навыков работы с математическим аппаратом статистической радиотехники.

Для успешного освоения дисциплины очень важно решение достаточно большого количества задач, как в аудитории, так и самостоятельно в качестве домашних заданий. Примеры решения задач разбираются на лекциях, при необходимости по наиболее трудным темам проводятся дополнительные консультации. Основная цель решения задач – помочь усвоить фундаментальные понятия и основы статистической радиотехники. Для решения всех задач необходимо знать и понимать лекционный материал. Поэтому в процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях или из учебной литературы.

Большое внимание должно быть уделено выполнению домашней работы. В качестве заданий для самостоятельной работы дома студентам предлагаются задачи, аналогичные разобранным на лекциях или немного более сложные, которые являются результатом объединения нескольких базовых задач.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретённых практических навыков работы с аппаратом статистической радиотехники и проведения расчетов, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде самостоятельных работ (в аудитории) в ходе изучения дисциплины. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

В конце всего курса изучения дисциплины студенты сдают экзамен. Экзамен принимается по экзаменационным билетам, каждый из которых включает в себя два теоретических вопроса и один практический. На самостоятельную подготовку к экзамену выделяется 3 дня, во время подготовки к экзамену предусмотрена групповая консультация.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины «Статистическая теория радиотехнических систем» самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала и большим объёмом курса. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является необходимым условием успешного изучения дисциплины.

## **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине**

Для **самостоятельной работы** рекомендуется использовать учебную литературу, указанную в разделе № 8 данной рабочей программы.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

**1. Личный кабинет** ([http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_login.php](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_login.php)) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб. и метод. пособия, тексты лекций и т.д.). Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.

**2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ** ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/пароллю.

**3. Электронная картотека «Книгообеспеченность»** ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_bookreq\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php)) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека «Книгообеспеченность» доступна в сети университета и через Личный кабинет.