

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 14.08.2023 13:42:36  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП  
«Радиосистемы и комплексы  
управления»



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**  
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»**  
**(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)**

---

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

ДИСЦИПЛИНЫ

**«ОПТИМИЗАЦИЯ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ»**

для подготовки специалистов

по направлению

11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

по специализации

**«Радиосистемы и комплексы управления»**

Санкт-Петербург

2023

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.т.н. доцент А.С. Маругин

доцент, к.т.н. доцент С.А. Пыко

профессор, к.т.н. профессор Ю.Д. Ульяницкий

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РС

10.03.2021, протокол № 2

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией

ФРТ, 20.04.2021, протокол № 2

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФРТ
Обеспечивающая кафедра	РС
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	4
Семестр	8
<b>Виды занятий</b>	
Лекции (академ. часов)	34
Лабораторные занятия (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	17
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	69
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	111
Всего (академ. часов)	180
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Дифф. зачет (курс)	4

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«ОПТИМИЗАЦИЯ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ»**

Дисциплина является логическим продолжением идей и методов, рассматриваемых в предмете «Статистическая теория радиотехнических систем», и дающая возможность углубить познания в данной предметной области и выработать практические навыки решения соответствующих задач. Дисциплина формирует необходимую теоретическую базу для подготовки выпускных работ, связанных с вопросами обработки сигналов различной природы. В дисциплине большое внимание уделяется вопросам представления сигналов и помех и их преобразованию линейными и нелинейными системами; рассматриваются вопросы обработки наблюдаемых сигналов в соответствии с различными критериями оптимальности. Большое внимание уделяется ознакомлению с философией дизайна современных радиоэлектронных систем и комплексов, подходам к оптимизации решений в радиоэлектронном проектировании. В рамках курса студенты должны ознакомиться с перспективными тенденциями и технологическими возможностями радиоэлектронной системотехники, взаимосвязи радиоэлектроники с другими областями наукоемкой деятельности.

### **SUBJECT SUMMARY**

#### **«OPTIMIZATION AND METHODS OF SIGNAL PROCESSING»**

Discipline is the logical continuation of the ideas and techniques discussed in the subject "Statistical theory of radio systems", and gives the opportunity to deepen knowledge in this subject area and to develop practical skills to solve relevant problems. Discipline creates the necessary theoretical basis for the preparation of final works related to issues of processing signals of different nature. In the discipline of a lot of attention is paid to the representation of the signals and interference and their transformation linear and nonlinear systems; deals with the processing of the

signals observed in accordance with different optimality criteria. Much attention is paid to familiarization with the design philosophy of modern radioelectronic systems and complexes, approaches to optimization solutions in radio design. As part of the course, students should learn about promising trends and technological possibilities of electronic systems engineering, electronics relationship with other areas of knowledge-based activities.

## 3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цель дисциплины -освоение методов и алгоритмов оптимизации и обработки сигналов в современных радиоэлектронных системах и комплексах измерения координат и информационного обмена.

2. Задачи дисциплины:

Формирование знания математического аппарата описания сигналов, помех и их преобразования линейными и нелинейными устройствами.

Получение знания алгоритмов оптимизации и обработки сигналов.

Освоения методов оптимального выбора сигналов в условиях априорной неопределенности.

Формирование навыков решения задач, связанных с обработкой сигналов различной природы при различных критериях качества.

3. Знания математического аппарата описания сигналов и помех и вопросов, связанных с их преобразованием линейными и нелинейными системами, включая приобретение знаний об оптимизации обработки сигналов при различных критериях качества, а также алгоритмов их обработки в современных радиотехнических комплексах измерения координат и информационного обмена.

4. Освоение методов преодоления априорной неопределенности сигнально-помеховой обстановки и умение их использовать, умения решать задачи адекватного выбора сигналов для систем локации, навигации, управления и передачи данных, синтезировать оптимальные и квазиоптимальные процедуры извлечения информации из принимаемых сигналов, владеть методиками расчета показателей качества радиоэлектронных систем и комплексов.

5. Формирование навыков решения задач, связанных с обработкой сигналов различной природы при различных критериях качества.

### **3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Математический аппарат радиотехники»
2. «Радиотехнические цепи и сигналы»
3. «Статистическая теория радиотехнических систем»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Морская радиолокация»
2. «Радиоэлектронные системы и комплексы»

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

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ПК-1	Способен осуществлять анализ состояния научно-технической проблемы, определять цели и выполнять постановку задач проектирования
<i>ПК-1.1</i>	<i>Знает стадии проектирования</i>
<i>ПК-1.2</i>	<i>Умеет разрабатывать техническое задание на проектирование</i>
ПК-6	Способен решать задачи оптимизации существующих и новых технических решений в условиях априорной неопределенности с применением пакетов прикладных программ
<i>ПК-6.1</i>	<i>Знает методы оптимизации существующих и новых технических решений в условиях априорной неопределенности</i>
<i>ПК-6.2</i>	<i>Умеет применять современный математический аппарат для решения задачи оптимизации</i>
<i>ПК-6.3</i>	<i>Владеет методами оптимизации проектируемых радиоэлектронных систем и комплексов</i>

### 3.4 Паспорт модуля

Дисциплина является частью модуля “Дисциплины специализации”. Модуль состоит из:

Код	Дисциплина	Тип	ЗЕТ
1	Оптимизация и обработка сигналов	Дисциплина	5
2	Современное проектирование цифровых устройств	Дисциплина	5
3	Автоматизированные радиоизмерительные комплексы	Дисциплина	5
4	Нейронные сети и нейродинамические системы	Дисциплина	4
5	Основы теории радиосистем и комплексов управления	Дисциплина	4
6	Морская радиолокация	Дисциплина	5
7	Испытания и моделирование радиотехнических систем и комплексов	Дисциплина	4
8	Прикладная статистическая радиофизика	Дисциплина	4



По каждой дисциплине в модуле проводится отдельная промежуточная аттестация, вопросы, примеры оценочных средств к ней и форма промежуточной аттестации указана в рабочей программе соответствующей дисциплины.

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Содержание разделов дисциплины

#### 4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	1				
2	Случайные процессы, их математическое описание	2	2	4		8
3	Преобразование сигналов и помех линейными и нелинейными системами	4	2	5		8
4	Классификация основных задач, реализуемых современными радиотехническими системами и комплексами	2		2		12
5	Классическая задача обнаружения сигнала. Оптимальные и квазиоптимальные алгоритмы. Проблема выбора сигнала при обработке в условиях мешающих воздействий	4	2	4		16
6	Последовательное обнаружение сигналов	4	2	2		8
7	Методы обработки сигналов в условиях априорной неопределенности	4	3			11
8	Задача различения сигналов	2	2			8
9	Измерительные радиотехнические задачи и проблема выбора сигналов	4	2			8
10	Разрешающая способность и сложные сигналы	2				8
11	Широкополосные сигналы для частотно-временных измерений	2			0	12
12	Примеры современных широкополосных систем определения координат и информационного обмена	2	2			12
13	Заключение	1			1	
	Итого, ач	34	17	17	1	111
	Из них ач на контроль	0	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	180/5				

## 4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Краткая справка о предмете курса, историческая ретроспектива. Критерии оптимальности в информационных системах и их влияние на выбор сигналов. Задачи, решаемые при обработке сигналов, и их влияние на выбор структуры сигналов. примерная тематическая разбивка содержания.
2	Случайные процессы, их математическое описание	Полное вероятностное описание. Корреляционные и спектральные характеристики случайных процессов. Непрерывность, интегрируемость и дифференцирование случайных процессов. Нормальный случайный процесс. Марковские процессы. Прямые способы описания случайных процессов.
3	Преобразование сигналов и помех линейными и нелинейными системами	Примеры преобразования стационарного случайного процесса линейными системами. Линейные системы с переменными параметрами. Преобразование случайных процессов со случайными параметрами. Распределение вероятностей случайного процесса на выходе линейной системы. Преобразование случайных процессов в нелинейных безынерционных системах. Преобразование случайных процессов в нелинейных инерционных системах.
4	Классификация основных задач, реализуемых современными радиотехническими системами и комплексами	Задачи обнаружения, различения, измерения параметров сигналов. Задача разрешения сигналов на фоне внутрисистемных помех. Критерии оптимальности при решении задач, основные оптимальные подходы к решению
5	Классическая задача обнаружения сигнала. Оптимальные и квазиоптимальные алгоритмы. Проблема выбора сигнала при обработке в условиях мешающих воздействий	Обнаружение детерминированного сигнала – задача, позволяющая определить потенциальные качественные показатели обнаружения. Реализация и качественные показатели задачи обнаружения при использовании цифровых методов накопления отсчетов сигнала. Выбор параметров аналого-цифрового перехода при цифровой обработке сигнала. Квазиоптимальные (модульные) методы обнаружения сигнала со случайной начальной фазой. Обнаружение сигнала в условиях мешающих сигналов (помехи от других систем, активное радиопротиводействие, задача радиоразведки), выбор характеристик информационного сигнала. Роль выбора сигнала в противоборстве с преднамеренной помехой. Выбор сигналов, затрудняющих проникновение в систему и несанкционированный перехват информации

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
6	Последовательное обнаружение сигналов	Постановка задачи. Байесовский подход. Последовательный критерий отношения правдоподобия Вальда и его алгоритм. Методы расчета количественных показателей последовательного обнаружения при проверке простых гипотез. Последовательное обнаружение при наличии мешающих параметров
7	Методы обработки сигналов в условиях априорной неопределенности	Априорная неопределенность и возможные способы неполного статистического описания. Достаточные статистики. Минимаксный подход. Адаптивный байесовский подход. Применения метода максимального правдоподобия в задачах обнаружения сигналов в условиях параметрической априорной неопределенности. Асимптотически оптимальные алгоритмы обнаружения сигналов. Непараметрические методы обнаружения сигналов. Робастный подход в задачах проверки гипотез
8	Задача различения сигналов	Простые и сложные сигналы. Критерии энергетической и спектральной эффективности. Требования к сигналам со стороны задач обнаружения и различения сигналов. Оптимальные в энергетическом смысле сигналы в системах М-ичной передачи. Ресурсный лимит, ограничивающий возможности передачи ортогональными (симплексными) сигналами. Реализация оптимальных семейств на основе простых и широкополосных (spread-spectrum) сигналов. Примеры широкополосных бинарных систем ортогональных сигналов (матрицы Адамара, функции Уолша и т.п.).
9	Измерительные радиотехнические задачи и проблема выбора сигналов	Краткий экскурс в теорию измерений: измерение как частный случай различения сигналов, критерии оценки, граница Крамера-Рао, оценка по максимуму правдоподобия и ее оптимальные свойства. Требования к сигналам со стороны задач измерения амплитуды и фазы. Измерение запаздывания сигнала и реализация потенциальной точности при ограниченном частотном ресурсе. Недостатки простых и достоинства сложных сигналов при измерении запаздывания. Частотно-временные измерения и безальтернативность применения сложных сигналов при необходимости обеспечения высокой точности оценок запаздывания и частотного сдвига.
10	Разрешающая способность и сложные сигналы	Содержание задач разрешения и критерии разрешающей способности. Роль частотно-временной функции неопределенности сигнала в задачах разрешения. Идентичность требований к сигналам со стороны задач частотно-временного разрешения и измерения запаздывания и частоты. Необходимость применения сложных сигналов в высокоразрешающих системах.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
11	Широкополосные сигналы для частотно-временных измерений	Требования к автокорреляционной функции и частотно-временной функции неопределенности в системах измерения расстояний и скоростей. Непрерывные и дискретные сигналы с «хорошей» автокорреляцией. Сигнал с линейной частотной модуляцией и его недостатки. Автокорреляционная функция дискретного сигнала. Периодические и импульсные дискретные сигналы. Общее выражение для автокорреляционной функции и задача синтеза кодовой последовательности дискретного сигнала с заданным алфавитом.
12	Примеры современных широкополосных систем определения координат и информационного обмена	Глобальные спутниковые радионавигационные системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС: философия построения, конфигурация, основные параметры. Организация дальномерных шкал на основе псевдослучайных бинарных кодов. Различия способов асинхронного кодового уплотнения в двух названных системах: ансамбль Голда (GPS NAVSTAR) и частотно-сдвинутые бинарные M-последовательности (ГЛОНАСС).
13	Заключение	Перспективные задачи теории сигналов и методов их обработки

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Исследование преобразований случайных величин	2
2. Исследование характеристик случайных процессов	2
3. Исследование прохождения случайных процессов через линейные цепи	2
4. Исследование прохождения случайных процессов через нелинейные цепи	3
5. Исследование классических обнаружителей сигналов	2
6. Цифровые обнаружители сигналов	2
7. Исследование характеристик модульных обнаружителей сигналов	2
8. Исследование последовательных процедур обнаружения	2
Итого	17

## 4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Задачи и математические основы современной теории сигналов	2
2. Случайные процессы и их математическое описание	2

<b>Наименование практических занятий</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
3. Преобразование сигналов и помех линейными и нелинейными системами	2
4. Задачи оптимальной линейной фильтрации	2
5. Классические задачи обнаружения различия и проблема выбора сигнала	2
6. Последовательное обнаружение	2
7. Методы обработки сигналов в условиях априорной неопределенности	3
8. Измерительные радиотехнические задачи и проблема выбора сигналов	2
Итого	17

#### **4.4 Курсовое проектирование**

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

#### **4.5 Реферат**

Реферат не предусмотрен.

#### **4.6 Индивидуальное домашнее задание**

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

#### **4.7 Доклад**

Доклад не предусмотрен.

#### **4.8 Кейс**

Кейс не предусмотрен.

#### **4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и ин-

формационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	51
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	40
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	15
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	5
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>111</b>

## 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Радиотехнические системы : учеб. для вузов по направлению "Радиотехника" / [Ю.М. Казаринов [и др.]] ; под ред. Ю.М. Казаринова, 2008. -590 с.	74
2	Преобразование сигналов и помех линейными и нелинейными системами : учеб. пособие для вузов по направлению 210400.62-"Радиотехника" / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2013. -87 с.	36
3	Ипатов, Валерий Павлович. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов: принципы и приложения / В.П. Ипатов ; пер. с англ. под ред. авт., 2007. -487 с.	54
4	Компьютерный практикум по дисциплинам "Математический аппарат радиотехники" и "Статистическая теория РТС" : учеб. пособие / [О.М. Андреева [и др.], 2011. -153, [1] с.	74
Дополнительная литература		
1	Статистическая теория связи в вопросах и задачах : учеб. пособие для вузов по специальности 200700 "Радиотехника" направления подгот. диплом. специалистов 654200 "Радиотехника" / О.М. Заславская [и др.], 2004. -179 с.	330

### 5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Методы обработки сигналов <a href="http://tk.ulstu.ru/lib/books/method_os_1.pdf">http://tk.ulstu.ru/lib/books/method_os_1.pdf</a>

### 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=14598>



## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Оптимизация и обработка сигналов» формой промежуточной аттестации является дифф. зачет. Оценивание качества освоения дисциплины производится с использованием рейтинговой системы.

#### Дифференцированный зачет

Оценка	Количество баллов	Описание
Неудовлетворительно	0 – 21	теоретическое содержание курса не освоено, необходимые практически навыки и умения не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки, дополнительная самостоятельная работа над курсом не приведет к существенному повышению качества выполнения учебных заданий
Удовлетворительно	22-32	теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки и умения работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий содержат ошибки
Хорошо	33-43	теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки и умения сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками
Отлично	44-57	теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки и умения сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено количеством баллов, близким к максимальному

## Особенности допуска

Для допуска к дифференцированному зачету студент должен посетить не менее 80% лекций и практических занятий, выполнить 8 лабораторных работ и защитить их на коллоквиумах а также написать на положительные оценки 3 проверочных и одну итоговую контрольные работы. Оценка диф. зачета выставляется по результатам текущего контроля в соответствии с указанными выше критериями.

## 6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### Вопросы к дифф.зачету

№ п/п	Описание
1	Как рассчитываются условные вероятности ошибок (вероятность ложной тревоги и вероятность пропуска сигнала) для задачи обнаружения сигнала?
2	Как записывается правило проверки двух простых гипотез, оптимальное по критерию минимума среднего риска?
3	Сформулируйте критерий идеального наблюдателя и критерий минимума суммы условных вероятностей ошибок.
4	Составляют ли ложная тревога и пропуск сигнала полную группу событий?
5	Что такое функция правдоподобия для задачи обнаружения сигнала?
6	Что такое отношение правдоподобия в задачах проверки двух простых гипотез?
7	Почему в качестве монотонной функции при преобразовании отношения правдоподобия чаще всего используется логарифмическая функция?
8	Как формулируется последовательное байесовское правило принятия решения в задачах обнаружения сигнала?
9	Как формулируется последовательная процедура Вальда? При выполнении каких условий гарантируется ее оптимальность?
10	Как рассчитываются пороги в процедуре Вальда?
11	Как решается задача проверки сложных гипотез?
12	Как решается задача обнаружения сигнала на фоне априорно неопределенных помех?
13	Что такое равномерно наиболее мощное решающее правило?
14	Что представляет собой непараметрический алгоритм проверки гипотез $H_0$ и $H_1$ ?
15	Как сравнивается эффективность двух решающих правил?
16	Какой будет структура обнаружителя для некогерентного пакета?
17	Какие критерии оптимальности используются при различении сигналов?
18	Чем отличаются ортогональные сигналы от ортогональных в усиленном смысле?
19	Что такое состоятельность и несмещенность оценки?

20	При каких условиях существует эффективная оценка? Приведите примеры.
----	--

## Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

### Контрольная работа № 1

1. Дайте определение линейного фильтра.
2. Что такое физически реализуемый?
3. Каким требованиям должны удовлетворять импульсная характеристика и комплексный коэффициент передачи линейного фильтра?
4. Чем отличаются импульсные характеристики стационарного и нестационарного линейных фильтров?
5. Как связаны между собой импульсная характеристика и комплексный коэффициент передачи стационарного линейного фильтра?
6. Дайте определение понятия отношения сигнал/шум (с/ш) на выходе линейной системы.
7. Как связаны между собой выходной сигнал линейного фильтра, его импульсная характеристика и входной сигнал для физически нереализуемого фильтра; физического реализуемого фильтра при установившемся режиме и в случае, когда сигнал подается на вход фильтра в момент ?
8. Запишите выражение для коэффициента передачи линейного фильтра, максимизирующего отношение с/ш на выходе в момент времени для сигнала и аддитивной стационарной помехи со спектральной плотностью мощности (СПМ) .
9. Запишите выражение для максимального отношения с/ш для сигнала , имеющего спектральную плотность , и аддитивной стационарной помехи с СПМ .
10. Как будут выглядеть выражения для оптимального коэффициента пе-

редачи и максимально достижимого отношения  $s/\sigma$ , если  $\tau$ , т. е. если помехой является белый шум? Оптимальный фильтр в этом случае называется согласованным фильтром.

## Контрольная работа № 2

1. Запишите, как выглядит импульсная характеристика согласованного фильтра (СФ) для сигнала  $s(t)$  и момента достижения максимального отношения  $s/\sigma$ .
2. Каким будет максимально достижимое отношение  $s/\sigma$  при согласованной фильтрации сигнала  $s(t)$  на фоне белого шума  $\sigma$ ?
3. Как следует выбрать момент достижения максимума отношения  $s/\sigma$ , чтобы СФ был бы физически реализуемым?
4. Какой будет импульсная характеристика физически реализуемого СФ и каким будет максимальное отношение  $s/\sigma$ , если момент  $\tau$  предшествует окончанию сигнала?
5. Какую форму будет иметь полезный сигнал на выходе СФ?
6. Какой будет корреляционная функция помехи на выходе СФ?
7. Сравните корреляционную обработку сигнала с согласованной фильтрацией. Для прямоугольного видеоимпульса приведите временные диаграммы, получающиеся на выходе СФ и коррелятора.
8. Что понимают под квазиоптимальной фильтрацией сигнала? Чем определяется эффективность квазиоптимальной фильтрации по критерию максимума отношения  $s/\sigma$  на выходе?
9. Как формулируется критерий оптимальной линейной фильтрации случайного стационарного сигнала  $s(t)$  на фоне аддитивной помехи  $\sigma(t)$ , которая представляет собой стационарный случайный процесс, если минимизируемой величиной является среднеквадратическая ошибка фильтрации?

10. Запишите интегральное уравнение для импульсной характеристики оптимального линейного фильтра в следующих случаях:

a. а) сигнал и помеха независимые стационарные случайные процессы, стационарный линейный фильтр не обязан удовлетворять условию физической реализуемости;

b. б) при требованиях к  $K$  и  $\sigma$ , соответствующих п. а, стационарный линейный фильтр должен быть физически реализуем.

### **Контрольная работа № 3**

1. При каких условиях возможно безошибочное выделение сигнала на фоне помех ?

2. Как определяются импульсная характеристика и коэффициент передачи физически реализуемого оптимального линейного фильтра, если СПМ наблюдаемого процесса можно представить в виде  $S(\omega) = \frac{N(\omega)}{D(\omega)}$ , где  $N$  и  $D$  – полиномы от  $\omega$  порядка  $M$  и соответственно  $N$  ?

3. Как формулируется задача обнаружения сигналов?

4. Какой информацией располагает разработчик обнаружителя и как она структурируется?

5. Что такое матрица потерь?

6. Как записывается выражение для средних потерь в задаче обнаружения сигнала?

7. Что такое пространство наблюдения? Как с его помощью можно описать работу обнаружителя?

8. Что такое простые и сложные гипотезы?

9. Чем определяется тип гипотезы?

10. Какие бывают сложные гипотезы? Приведите примеры.

## Итоговая контрольная работа

1. Какие сигналы с бинарной ФМ являются предпочтительными для передачи по АБГШ–каналу:

– прямоугольные импульсы с пиковой мощностью 1000 Вт и полосой 100 кГц;

– прямоугольные импульсы такой же длительности с пиковой мощностью 900 Вт и полосой 10 МГц?

Ответ обосновать.

2. Можно ли построить 7 эквидистантных сигналов, для которых коэффициент корреляции между двумя любыми был бы равным? Каково максимально возможное число сигналов с указанным коэффициентом корреляции?

3. Найти, пользуясь методом максимального правдоподобия, оценку параметра  $k$  сигнала Помеха – АБГШ с СПМ  $N_0/2$ . Будет ли полученная оценка смещенной? Найти дисперсию оценки.

4. Необходимо измерить временной интервал между двумя независимо наблюдаемыми сигналами и на фоне нормального белого шума, т.е. оценить величину  $\Delta t = \tau_2 - \tau_1$ . Найти значение среднеквадратической ошибки измерений. Считать, что  $\Delta t_{\min} \gg \max[ \dots ]$ , спектры сигналов не перекрываются.

5. В некоторой РЛС используется простой импульсный сигнал. Проектировщик системы планирует уменьшить пиковую мощность в 100 раз без ухудшения отношения с/ш на выходе СФ и в то же время уменьшить в 10 раз СКО измеряемого времени запаздывания. Какой должна быть база сигнала в усовершенствованной системе? Под базой понимается произведение длительности сигнала на эффективную ширину спектра комплексной огибающей.

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сфор-

мированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

### 6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	Случайные процессы, их математическое описание	
2	Преобразование сигналов и помех линейными и нелинейными системами	
3		
4		Коллоквиум
5	Классификация основных задач, реализуемых современными радиотехническими системами и комплексами	Контрольная работа
6	Классическая задача обнаружения сигнала. Оптимальные и квазиоптимальные алгоритмы. Проблема выбора сигнала при обработке в условиях мешающих воздействий Последовательное обнаружение сигналов	
7		
8		Коллоквиум
9	Методы обработки сигналов в условиях априорной неопределенности Задача различения сигналов	
10		
11		Контрольная работа
12	Разрешающая способность и сложные сигналы	Коллоквиум
13	Широкополосные сигналы для частотно-временных измерений	
14		
15		Контрольная работа
16	Примеры современных широкополосных систем определения координат и информационного обмена	Коллоквиум
17	Случайные процессы, их математическое описание Преобразование сигналов и помех линейными и нелинейными системами Классификация основных задач, реализуемых современными радиотехническими системами и комплексами Классическая задача обнаружения сигнала. Оптимальные и квазиоптимальные алгоритмы. Проблема выбора сигнала при обработке в условиях мешающих воздействий Последовательное обнаружение сигналов Методы обработки сигналов в условиях априорной неопределенности Задача различения сигналов Измерительные радиотехнические задачи и проблема выбора сигналов Разрешающая способность и сложные сигналы Широкополосные сигналы для частотно-временных измерений Примеры современных широкополосных систем определения координат и информационного обмена	Контрольная работа

### 6.4 Методика текущего контроля

#### на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80**



% занятий) и проведение трех тестовых контрольных работы и одной итоговой контрольной работы , по результатам которых студент получает допуск на зачет с оценкой.

Проверочные контрольные работы рассчитаны на 20 минут и содержат 10 вопросов. Максимальный балл за каждый вопрос контрольной работы – 1. Балл 1 выставляется, если на вопрос дан полный развернутый ответ. Балл 0 выставляется, если ответ отсутствует или полностью не соответствует поставленному вопросу. Промежуточное значение балла за каждый вопрос выставляется при недостаточно полном ответе. Максимальный балл за контрольную работу составляет 10.

На последней неделе учебного семестра проводится **итоговая контрольная работа**. Задание контрольной работы охватывает все разделы изученной дисциплины и состоит из пяти задач. **Максимальный балл за каждую задачу контрольной работы – 5.**

Балл 5 выставляется, если задача решена безошибочно.

Балл 4 выставляется, если в верном в целом решении присутствуют неточности.

Балл 3 выставляется, при наличии в решении негрубых ошибок.

Балл 2 выставляется, при наличии в решении грубых ошибок.

Балл 1 выставляется, если в приведённых рассуждениях присутствует тенденция к раскрытию решения задачи.

Балл 0 выставляется, если решение полностью отсутствует.

Балл за решение может быть повышен (но не более, чем до максимального значения) за оригинальность решения, приведения различных вариантов решения задачи и т.д.

**Всего за все контрольные работы студент может получить 55 рейтин-**

**говых баллов.**

### **на лабораторных занятиях**

- Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты

В процессе обучения по дисциплине «Оптимизация и обработка сигналов» студент обязан выполнить 8 лабораторных работ. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение экспериментальных исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. После каждых 2 лабораторных работ предусматривается проведение коллоквиума на 4, 8, 12 и 16 неделях, на которых осуществляется защита лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется индивидуально (в бригадах до 2 человек). Оформление отчета студентами осуществляется индивидуально в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения экспериментальных исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

Лабораторные работы защищаются студентами индивидуально. Каждый студент получает вопрос по теоретической части, или по процедуре проведения экспериментальных исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите лабораторной работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их при-

менения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных экспериментальных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении лабораторной работы.

Примеры контрольных вопросов приведены в критериях оценивания.

Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем лабораторным работам, по результатам которой студент получает допуск на зачет с оценкой. По результатам защиты лабораторных работ студент **может получить дополнительно до 2 бонусных баллов** к сумме баллов, полученных по результатам тестов и контрольной работы.

#### **на практических (семинарских) занятиях**

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80 % занятий), по результатам которого студент получает допуск на зачет с оценкой.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

#### **самостоятельной работы студентов**

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных, лабораторных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

## 7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, маркерная доска	
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест, оснащенных ПК, – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, маркерная доска	
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

## **8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА
1	29.03.2022	РПД актуальна	29.03.2022 протокол № 3	доцент, к.т.н. доцент А.С. Маругин; доцент, к.т.н. доцент С.А. Пыко; профессор, к.т.н. профессор Ю.Д. Ульяновский	
2	26.06.2023	РПД актуальна	26.06.2023 протокол № 2	доцент, к.т.н. доцент А.С. Маругин; доцент, к.т.н. доцент С.А. Пыко; профессор, к.т.н. профессор Ю.Д. Ульяновский	