



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»

**Кафедра радиофизики и радиоэлектроники**



УТВЕРЖДАЮ  
Декан ~~Физического факультета~~ Буднев Н.М.

«20» апреля 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля) Б1.В.08 Теория передачи сигналов

Направление подготовки 03.03.03. Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки Радиофизика: радиоэлектронные устройства,  
обработка сигналов и автоматизация

Квалификация выпускника бакалавр

Форма обучения очная

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол №38 от «18» апреля 2023 г.

Председатель ~~\_\_\_\_\_~~ Буднев Н.М.

Рекомендовано кафедрой радиофизики  
и радиоэлектроники:

Протокол № 7 от «27» февраля 2023 г.

И.О. зав. кафедрой  
Колесник С.Н.

Иркутск 2023 г.

## Содержание

I.	ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ .....	3
II.	МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО.....	3
III.	ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
IV.	СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ .....	4
	4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов .....	4
	4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы ( в том числе КСР) обучающихся по дисциплине .....	5
	4.3. Содержание учебного материала .....	6
	4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	6
	4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС) .....	7
	4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	7
V.	УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	8
VI.	МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	9
	6.1. Учебно-лабораторное оборудование: .....	9
	6.2. Программное обеспечение:.....	9
	6.3. Технические и электронные средства:.....	9
VII.	ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....	9
VIII.	ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ .....	9

## I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели:

Цель курса – обеспечить студента необходимыми знаниями из теории оптимального приема для исследования, проектирования и применения современных и перспективных радиотехнических систем и устройств связи, навигации, передачи данных.

### Задачи:

Задачи курса – научить студентов ориентироваться в задачах оптимальной обработки сигналов, а также использовать оптимальные методы обработки сигналов в своей профессиональной деятельности.

## II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Учебная дисциплина (модуль) Теория передачи сигналов относится части, формируемой участниками образовательных отношений.

Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами:

Статистическая радиофизика, Теория вероятностей и математическая статистика.

Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной: Спутниковые системы радионавигации

## III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности) 03.03.03 Радиофизика

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-1. Способность использовать физико-математические знания в сфере профессиональной деятельности	ИДК <sub>ПК1.2</sub> Описывает радиофизические процессы, системы и объекты используя математические модели.	Знать: способы статистического описания процессов оптимальной обработки сигналов. Уметь: использовать статистические модели физических процессов в задачах оптимальной обработки. Владеть: навыками решения типовых задач оптимального приема.
	ИДК <sub>ПК1.3</sub> Реализует математические методы обработки информации в сфере профессиональной деятельности	Знать: основные задачи оптимального приема, особенности их решения. Уметь: использовать математический аппарат для реализации оптимальных методов обработки сигналов. Владеть: навыками синтеза и анализа оптимальных алгоритмов

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часов,  
в том числе 17 часов на экзамен.

Форма промежуточной аттестации: экзамен

#### 4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/н	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Форма текущего контроля успеваемости/ Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа (в том числе, внеаудиторная СР, КСР)	
					Лекция	Практическое / Лабораторное занятие	Консультация		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Введение	7	3		2			1	
2	T1. Критерии оптимального приема	7	9		4	2/0		3	Письменный текущий контроль
3	T2. Обнаружение сигналов	7	20,2		6	2/4	0,2	6	Письменный текущий контроль. Защита ЛР.
4	T3. Различение сигналов	7	22,2		8	2/6	0,2	6	Письменный текущий контроль.

									Защита ЛР.
5	Т4. Оценка параметров сигнала	7	18,2		10	2/0	0,2	6	Письменный текущий контроль.
6	Т5. Фильтрация сообщений	7	26,2		10	4/6	0,2	6	Письменный текущий контроль. Защита ЛР.
7	Т6. Разрешение сигналов	7	20,2		10	4/0	0,2	6	Письменный текущий контроль.
8	Экзамен	7	17						7 семестр

#### 4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы ( в том числе КСР) обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
7	Введение	Работа с учебником, справочной литературой, первоисточниками, конспектом	1-я нед	1	Письменный текущий контроль.	
	Т1. Критерии оптимального приема		1-я нед	3		
	Т2. Обнаружение сигналов		2-4	6		
	Т3. Различение сигналов		5-7	6		
	Т4. Оценка параметров сигнала		8-11	6		
	Т5. Фильтрация сообщений		12-14	6		
	Т6. Разрешение сигналов		16-17	6		
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				34		
<b>Из них объем самостоятельной работы с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий (час)</b>				0		

### 4.3. Содержание учебного материала

#### Введение

Предмет изучения теории передачи сигналов. Основные задачи теории передачи сигналов. Характеристики сигналов и помех. Примеры использования теории передачи сигналов в различных областях радиофизики и радиотехники. Историческая справка.

#### T1. Критерии оптимального приема

Априорная и апостериорная плотности вероятности. Функция и функционал правдоподобия. Корреляционный прием. Согласованные и квазиоптимальные фильтры.

#### T2. Обнаружение сигналов

Критерии оптимального обнаружения сигналов. Обнаружение детерминированных сигналов по критерию Неймана-Пирсона. Обнаружение сигналов со случайной фазой.

#### T3. Различение сигналов

Критерии различения сигналов. Различение двух детерминированных сигналов. Различение сигналов со случайной фазой. Понятие потенциальной помехоустойчивости. Потенциальная помехоустойчивость АМ, ЧМ, ФМ модуляции.

#### T4. Оценка параметров сигнала

Свойства (характеристики) оценок. Методы оценки параметров сигналов.

Оценка параметров сигнала по критерию максимального правдоподобия. Оценка энергетических и неэнергетических параметров радиоимпульса. Оценка времени запаздывания видеоимпульса. Оценка начальной фазы радиоимпульса. Оценка частоты.

#### T5. Фильтрация сообщений

Постановка задачи фильтрации. Модели сообщений. Критерии точности. Уравнение оптимальной линейной фильтрации. Комплексирование.

#### T6. Разрешение сигналов

Понятие о разрешении и разрешающей способности. Виды сложных сигналов. Разрешение по времени запаздывания и частоте. Частотно-временная функция неопределенности сигналов.

#### 4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/н	№ раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы)*
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1	В, Т1	ПЗ1. Решение задач по В, Т1.	2		Письменный текущий контроль.	ПК1. ИДК <sub>ПК1.2</sub> ИДК <sub>ПК1.3</sub>
2	T2	ПЗ2. Решение задач по T2. Лр1. Исследование алгоритмов обнаружения сигналов	6		Письменный текущий контроль. Защита ЛР.	ПК1. ИДК <sub>ПК1.2</sub> ИДК <sub>ПК1.3</sub>
3	T3	ПЗ3. Решение задач по T3. ЛР.2. Исследование алгоритмов	8		Письменный текущий контроль. Защита ЛР.	ПК1. ИДК <sub>ПК1.2</sub> ИДК <sub>ПК1.3</sub>

		различия сигналов				
4	T4	ПЗ4. Решение задач по T4	2		Письменный текущий контроль.	ПК1. ИДК <sub>ПК1.2</sub> ИДК <sub>ПК1.3</sub>
5	T5	ПЗ.5 Решение задач по T5. ЛР.3. Исследование алгоритмов линейной оптимальной фильтрации сообщений	10		Письменный текущий контроль. Защита ЛР.	ПК1. ИДК <sub>ПК1.2</sub> ИДК <sub>ПК1.3</sub>
6	T6	ПЗ6. Решение задач по T6	4		Письменный текущий контроль.	ПК1. ИДК <sub>ПК1.2</sub> ИДК <sub>ПК1.3</sub>

#### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ п/п	Тема	Задание	Формируемая компетенция	ИДК
1	2	3	4	5
1	Введение	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ1.	ПК1	ИДК <sub>ПК1.2</sub> ИДК <sub>ПК1.3</sub>
2	T1. Критерии оптимального приема	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ1.		
3	T2. Обнаружение сигналов	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ2. Подготовка к защите Лр1.		
4	T3. Различение сигналов	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ3. Подготовка к защите ЛР2.		
5	T4. Оценка параметров сигнала	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ4.		
6	T5. Фильтрация сообщений	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ5.		
7	T6. Разрешение сигналов	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ6.		

#### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа бакалавров – индивидуальная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства преподавателя, в ходе которой бакалавр активно воспринимает, осмысливает полученную информацию, решает теоретические и практические задачи.

На самостоятельную работу выносятся следующие вопросы и задания по темам дисциплины:

Введение. Основные задачи оптимального приема. Апостериорная плотность вероятности. Корреляционный прием. Согласованный линейный фильтр. Апостериорные плотности вероятностей параметров радиоимпульса.

Т1. Критерии оптимального обнаружения и различения сигналов. Критерии оптимального обнаружения сигналов.

Т2. Обнаружение детерминированного сигнала по критерию Неймана-Пирсона. Обнаружение сигнала в неизвестной начальной фазой. Структурные схемы оптимальных обнаружителей.

Т3. Алгоритм различения двух детерминированных сигналов. Структурная схема различителя. Различение сигналов с АМн, ЧМн, ФМн.

Т4. Оценка энергетических параметров сигнала. Оценка неэнергетических параметров сигналов. Предельная точность оценки параметров сигналов.

Т5. Критерии разрешения радиосигналов. Функция неопределенности радиосигналов. Разрешение по частоте и времени. Сложные сигналы.

Т6. Постановка задачи фильтрации. Модели передаваемых сообщений. Критерии точности фильтрации. Уравнение оптимальной фильтрации. Фильтр Калмана.

Контроль самостоятельной работы проводится на практических занятиях, при защите лабораторных работ.

## **V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Электронная информационно-образовательная среда университета обеспечивает доступ к электронным учебным изданиям и электронным образовательным ресурсам, указанным в рабочей программе дисциплины (модуля).

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий на одного обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль).

Обучающимся обеспечен доступ к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам, состав которых определяется в рабочих программах дисциплин (модулей).

### **а) перечень литературы**

Радиотехнические системы: учебное пособие для вузов / М. Ю. Застела [и др.] ; под общей редакцией М. Ю. Застела. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 495 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06598-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/493380>. Неограниченный доступ.

### **б) периодические издания**

### **в) список авторских методических разработок:**

### **г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Научная библиотека ИГУ [http://library.isu.ru/ru/resources/edu\\_resources/index.html](http://library.isu.ru/ru/resources/edu_resources/index.html)
2. БД книг и продолжающихся изданий [http://ellibnb.library.isu.ru/cgi-bin/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.htm?LNG=&C21COM=F&I21DBN=IRCAT&P21DBN=IRCAT](http://ellibnb.library.isu.ru/cgi-bin/irbis64r_15/cgiirbis_64.htm?LNG=&C21COM=F&I21DBN=IRCAT&P21DBN=IRCAT)
3. Электронный читальный зал «БиблиоТех» <https://isu.bibliotech.ru/>
4. Электронная библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com>
5. Электронная библиотечная система «РУКОНТ» <http://rucont.ru>

## VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Класс ЭВМ, аудитория 323А, оснащенная вычислительной техникой, специальным ПО и свободным доступом в сеть Internet.

### 6.2. Программное обеспечение:

1. ABBY PDF Transformer 3.0 Пакет из 10 неименных лицензий Per Seat (10лиц.) EDU. Код позиции: АТ30-1S1P10-102 Котировка № 03-165-11 от 23.11.2011. Бессрочно.

2. Microsoft OfficeProPlus 2013 RUS OLP NL Acdmc. Контракт № 03-013-14 от 08.10.2014.Номер Лицензии Microsoft 45936786. Бессрочно.

3. WinPro10 Rus Upgrd OLP NL Acdmc. Сублицензионный договор № 502 от 03.03.2017 Счет № ФРЗ- 0003367 от 03.03.2017 Акт № 4496 от 03.03.2017 Лицензия № 68203568. Бессрочно.

4. Kaspersky Free (ежегодно обновляемое ПО). Условия использования по ссылке: <http://www.kaspersky.ru/free-antivirus/> . Бессрочно.

### 6.3. Технические и электронные средства:

Мультимедийный проектор, экран (по необходимости), меловая или маркерная доска.

## VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

На лекциях используются активные методы обучения (компьютерных симуляций, разбор конкретных ситуаций). Практические занятия проводятся в интерактивной форме. Лабораторные работы проводятся с использованием специализированных макетов и контрольно-измерительного оборудования.

## VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Текущий контроль реализуется в виде письменного текущего контроля на ПЗ1-ПЗ6, при защите лабораторных работ ЛР1-ЛР3. Текущий контроль направлен на выявление сформированности компетенции ПК-1.

Для реализации текущего контроля используется балльно-рейтинговая система оценки, принятая в университете.

За посещение одного вида занятия дается 0,6 балла (25 занятий (Л+Пз+ЛР)\*0,6 балла = 15 баллов), максимальное количество баллов за письменный контроль на СКР – 5 баллов, за Пз – 54 баллов (6 летучек \*5 балла= 30 баллов, решение задач у доски или самостоятельное досрочное решение всех задач, выносимых на ПЗ – 6 занятий\*4 балла=24 баллов), лабораторные работы (ЛР) – 30 баллов (3\*ЛР\*10 баллов=30 баллов).

Параметры оценочного средства для письменного текущего контроля и решения задачи у доски или самостоятельного досрочного решения всех задач, выносимых на ПЗ1-ПЗ6.

Параметры оценочного средства для КСР.

Критерии оценки	Оценка / баллы			
	Отлично 5 баллов.	Хорошо 3,5 балла	Удовлетв. 2 балла.	Неудовл. 0 баллов
Выполнение заданий	Полностью и корректно выполнены все задания.	Полностью выполнены все задания,	Не полностью выполнены задания,	Задание не выполнены или задание выполнено не

		допущены одна – две ошибки.	допущены одна – две ошибки.	полностью и допущено более 3-х ошибок.
--	--	-----------------------------	-----------------------------	--

Параметры оценочного средства для защиты лабораторных работ ЛР1-ЛР3

Критерии оценки	Оценка / баллы			
	Отлично 7-10 баллов	Хорошо 4-6 балла	Удовлетв. 1-3 балла.	Неудовл. 0 баллов
Выполнение заданий	Полностью и корректно оформлен отчет, сделаны выводы. При защите показано всестороннее и глубокое знание материала.	В целом отчет оформлен корректно, сделаны выводы, но имеются незначительные недостатки. При защите студент показывает понимание материала, приводит примеры, но испытывает затруднения с выводами, однако достаточно полно отвечает на дополнительные вопросы.	Отчет оформлен полностью. Имеются замечания по оформлению, выводы сделаны не полностью. При защите - суждения поверхностны, содержат ошибки, примеры не приводятся, ответы на дополнительные вопросы не уверенные.	Отчет не оформлен.  Отчет оформлен со значительными замечаниями, выводы не полные, при защите студент с трудом формулирует свои мысли, не приводит примеры, не дает ответа на дополнительные вопросы

Вопросы для письменного текущего контроля приведены ниже:

- Пз.1. Дайте определение математического ожидания случайной величины.  
Сформулируйте задачу обнаружения сигнала.  
Корреляционный приемник.  
Нарисуйте и запишите выражение для нормальной и равномерной плотностей вероятностей.  
Сформулируйте задачу различения сигнала.  
Согласованный фильтр.  
Дайте определение дисперсии случайной величины.  
Сформулируйте задачу оценки сигнала.  
Какая связь между апостериорной, априорной плотностями вероятности и функционалом правдоподобия.  
Дайте определение корреляционной функции.  
Сформулируйте задачу фильтрации сигнала.  
Что показывает функционал правдоподобия. Как он вычисляется.  
Дайте определение спектральной плотности случайного процесса.  
Сформулируйте задачу разрешения сигналов.  
Какую информацию можно извлечь из апостериорной плотности вероятности.  
Как связаны между собой вероятность события, функция распределения и

- плотность вероятности случайного процесса.  
 В чем сущность оптимальной обработки сигналов.
- Пз.2. Какую информацию можно извлечь из априорной плотности вероятности.  
 Назовите и сформулируйте основные задачи оптимального приема сигналов.  
 Нарисуйте структурную схему обнаружителя детерминированного сигнала.  
 Критерий идеального наблюдателя.  
 Назовите и сформулируйте основные критерии выбора оптимального порога.  
 Сформулируйте задачу обнаружения сигнала.  
 Нарисуйте структурную схему обнаружителя сигнала со случайной начальной фазой.  
 Критерий Неймана-Пирсона.  
 Сформулируйте задачу разрешения сигналов.  
 Какое устройство называют согласованным фильтром.  
 Критерий последовательного наблюдателя.  
 Сформулируйте задачу оптимальной фильтрации.
- Пз.3. Нарисуйте структурную схему корреляционного приемника.  
 Сформулируйте критерии выбора порога при оптимальной обработке сигналов.  
 От каких параметров сигнала зависит вероятность полной ошибки при решении задачи оптимального различения сигналов.  
 Запишите алгоритм оптимального различения двух детерминированных сигналов.  
 Что называют кривыми обнаружения.  
 Нарисуйте структурную схему оптимального различителя двух детерминированных сигналов.  
 В чем суть задачи обнаружения сигналов.  
 Сформулируйте задачу оптимального различения сигналов.  
 Изобразите график зависимости вероятности полной ошибки от отношения сигнал – шум для АМн, ЧМн, ФМН детерминированных сигналов и сигналов со случайной начальной фазой. Сделайте выводы.
- Пз. 4. Оценивание амплитуды детерминированного сигнала.  
 Точность оценки энергетических параметров сигнала.  
 Оценивание амплитуды сигнала со случайной начальной фазой.  
 Точность оценки неэнергетических параметров сигнала.  
 Оценивание длительности сигнала.  
 Точность оценки энергетических параметров сигнала.  
 Сформулируйте задачу оценки параметров сигналов.  
 Точность оценки параметров сигналов.
- Пз. 5. Постановка и разновидности задачи фильтрации.  
 Модели передаваемых сообщений.  
 Сформулируйте задачу оптимальной фильтрации.  
 Критерии оптимальности в задачах фильтрации.  
 Общие уравнения фильтрации.  
 Уравнения фильтра Калмана. Какие можно сделать выводы из этих уравнений.  
 Сформулируйте задачу оптимального разрешения сигналов
- Пз. 6. Постановка задачи разрешения сигналов.  
 Критерии разрешения сигналов.  
 Функция неопределенности сигналов.  
 Разрешающая способность по частоте.  
 Разрешающая способность по времени.  
 Сложные сигналы.  
 Свойства сложных сигналов.

Перечень примерных вопросов для защиты лабораторных работ:

ЛР1. Исследование структуры оптимального обнаружителя.

1. Основные задачи теории передачи сигналов. Характеристики сигналов и помех.
2. Априорная и апостериорная плотности вероятности.
3. Теорема Байеса.
4. Функция и функционал правдоподобия.
5. Корреляционный прием.
6. Согласованные и квазиоптимальные фильтры.
7. Критерии оптимального обнаружения сигналов.
8. Обнаружение детерминированных сигналов по критерию Неймана-Пирсона.
9. Оптимальное обнаружение сигналов с помощью корреляционных приемников и согласованных фильтров.
10. Обнаружение сигналов со случайной фазой.

ЛР2. Исследование структуры оптимального различителя.

1. Различение сигналов. Критерии различения сигналов.
2. Различение двух детерминированных сигналов.
3. Потенциальная помехоустойчивость АМ, ЧМ и ФМ сигналов.
4. Различение сигналов со случайной фазой.
5. Оценка параметров сигнала. Критерии оценки параметров сигнала.
6. Оценка параметров сигнала по критерию максимального правдоподобия
7. Оценка неэнергетических параметров радиоимпульса.
8. Оценка энергетических параметров радиоимпульса

ЛР3. Исследование алгоритма оптимальной фильтрации.

1. Разрешение сигналов. Функция неопределенности.
2. Разрешение по времени запаздывания. Сложные сигналы.
3. Понятие о разрешении и разрешающей способности.
4. Разрешение по времени запаздывания и частоте. Частотно-временная функция неопределенности.
5. Постановка задачи фильтрации.
6. Оптимальная линейная фильтрация сообщений.
7. Дискретный фильтр Калмана.
8. Комплексование.

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации (в форме экзамена).**

Промежуточная аттестация направлена на проверку сформированности компетенции ПК-1 и проводится в форме экзамена. Форма проведения экзамена – устный по билетам или письменный по билетам. Экзамены проводятся во время экзаменационных сессий в соответствии с расписанием.

Экзаменационный билет состоит из одного теоретического и одного практического вопроса. Экзаменационные задания (билеты) для приема экзаменов выполнены многовариантными, чтобы исключить возможность списывания и обмена информацией в ходе экзамена.

Студент бакалавр допускается к экзамену в том случае, если в течение семестра за текущую работу набрано 40 баллов и более. В противном случае выставляется 0 сессионных баллов. Во время экзамена студент бакалавр может набрать до 30 баллов. Если на экзамене ответ студента оценивается менее чем 10-ю баллами, то экзамен считается не сданным, студенту бакалавру выставляется 0 баллов, а в ведомость выставляется оценка «неудовлетворительно».

Если на экзамене студент набирает 10 и более баллов, то они прибавляются к сумме баллов за текущую работу и переводятся в академическую оценку, которая фиксируется в ведомости и зачетной книжке студентов.

Итоговый семестровый рейтинг	Академическая оценка
60-70 баллов	«удовлетворительно»
71-85 баллов	«хорошо»
86-100 баллов	«отлично»

Преподаватель имеет право выставить экзаменационную оценку (с согласия студента) без процедуры сдачи экзамена, если сумма баллов, набранная студентом за текущую работу составит более 70 баллов. В этом случае к набранному студентом количеству баллов за текущую работу автоматически добавляется 20 баллов и выставляется соответствующая академическая оценка.

Критерии	Оценка			
	Отлично	Хорошо	Удовлетв.	Неудовлетв.
Знание	Всесторонние глубокие знания <b>(10 -11 баллов)</b>	Знание материала в пределах программы <b>(7 -9 баллов)</b>	Отмечены пробелы в усвоении программного материала <b>(4 -6 баллов)</b>	Не знает основное содержание дисциплины <b>(0-3 балла)</b>
Понимание	Полное понимание материала, приводит примеры, дополнительные вопросы не требуются <b>(8 -10 баллов)</b>	Понимает материал, приводит примеры, но испытывает затруднения с выводами, однако достаточно полно отвечает на дополнительные вопросы <b>(6 -8 баллов)</b>	Суждения поверхностны, содержат ошибки, примеры не приводит, ответы на дополнительные вопросы неуверенные <b>(4 -6 баллов)</b>	С трудом формулирует свои мысли, не приводит примеры, не дает ответа на дополнительные вопросы <b>(0-3 балла)</b>
Применение проф. терминологии	Дает емкие определения основных понятий, корректно использует профессиональную терминологию <b>(3-5 баллов)</b>	Допускает неточности в определении понятий, не в полном объеме использует профессиональную терминологию <b>(2-3 балла)</b>	Путает понятия, редко использует профессиональную терминологию <b>(1-2 балла)</b>	Затрудняется в определении основных понятий дисциплины, некорректно использует профессиональную терминологию <b>(0-2 балла)</b>
Соблюдение норм литературного языка	Соблюдает нормы литературного языка, преобладает научный стиль изложения <b>(3-4 балла)</b>	Соблюдает нормы литературного языка, допускает единичные ошибки <b>(2- 3 балла)</b>	Допускает множественные речевые ошибки при изложении материала <b>(1-2 балл)</b>	Косноязычная речь искажает смысл ответа <b>(0-1 балл)</b>

### Примерный перечень вопросов и заданий к экзамену

1. Основные задачи оптимального приема.
2. Апостериорная плотность вероятности.
3. Корреляционный приемник.
4. Согласованный линейный фильтр.
5. Постановка задачи обнаружения сигналов.
6. Критерии выбора порога при обнаружении и различении сигналов.
7. Обнаружение детерминированного сигнала по критерию Неймана-Пирсона.
8. Обнаружение детерминированного сигнала по критерию Неймана-Пирсона со случайной начальной фазой.
9. Различение двух детерминированных сигналов.
10. Вероятность полной ошибки при различении двух сигналов с АМн, ЧМн, ФМн.
11. Оценка энергетических параметров сигналов. Оценка амплитуды детерминированного сигнала.
12. Оценка энергетических параметров сигналов. Оценка амплитуды сигналов со случайной начальной фазой.
13. Оценка длительности детерминированного сигнала.
14. Оценка неэнергетических параметров известного сигнала. Точность оценки неэнергетического параметра сигнала.
15. Постановка задачи фильтрации.
16. Модели передаваемых сообщений.
17. Критерии оптимальности в задачах фильтрации.
18. Вывод общего уравнения оптимальной фильтрации.
19. Вывод уравнений фильтра Калмана.
20. Комплексование оценок от нескольких измерителей.
21. Функция неопределенности радиосигналов.
22. Разрешение по времени запаздывания.
23. Разрешение по частоте.
24. Сложные сигналы.
25. ЛЧМ-сигнал, его свойства.
26. ФМн сигнал, его свойства.
27. Постановка задачи разрешения сигналов.
28. Критерии разрешения сигналов.
29. Функция неопределенности сигналов.
30. Разрешающая способность по частоте.
31. Разрешающая способность по времени.
32. Сложные сигналы.
33. Свойства сложных сигналов.

### Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Контролируемые компетенции/ индикаторы
1	2	3	4
1	Письменный текущий контроль.	В,Т1	ПК1. ИДК <sub>ПК1.2</sub> ИДК <sub>ПК1.3</sub>
2	Письменный текущий контроль. Защита ЛР	Т2	
3	Письменный текущий контроль. Защита ЛР	Т3	
4	Письменный текущий контроль.	Т4	
5	Письменный текущий контроль. Защита ЛР	Т5	
6	Письменный текущий контроль.	Т6	

Пример экзаменационного билета.



федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №3**

По курсу "Теория передачи сигналов"

1. Основные задачи оптимального приема.
2. На входе оптимального приёмника может действовать сумма сигнала и белого гауссовского шума или только один шум.

$$\xi(t) = \theta S(t) + n(t), \theta = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

Рассчитать числовые характеристики напряжения на выходе корреляционного приёмника (согласованного фильтра) и построить графики  $p(q_0)$  и  $p(q_1)$ , если  $S(t) = A_0 \cos(\omega_0 t)$ ,  $A_0$  и  $\omega_0$  - детерминированные величины.  $A_0 = 1$  мкВ,  $N_0 = 10^{-15}$  В<sup>2</sup>/Гц, а время наблюдения реализации  $\xi(t)$  составляет  $T = \tau = 4$  мс.

Экзаменационные билеты рассмотрены на заседании Учебно-методической  
комиссии факультета «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Председатель учебно-методической комиссии

Н.М. Буднев

Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенции ПК-1:

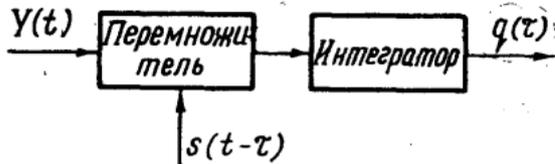
1. Назовите основные задачи оптимального приема сигналов
  - А. Обнаружение, разделение, фильтрация, измерение, разделение.
  - Б. Обнаружение, различение, оценка, фильтрация, разрешение.
  - В. Обнаружение, сжатие, измерение, оценка, фильтрация.
2. Формулировка какой задачи оптимального приема приведена: «по конкретной реализации сигнала  $y(t)$  на интервале  $T$  решить оптимальным образом, отсутствует или присутствует сигнал  $S(t)$ »?
  - А. Различение.
  - Б. Обнаружения.
  - В. Оценка.
3. Формулировка какой задачи оптимального приема приведена: «по принятой реализации сигнала  $y(t)$  принять оптимальное решение, присутствует ли сигнал  $S_1(t)$  или сигнал  $S_2(t)$ »?
  - А. Различение.

- Б. Обнаружения.  
В. Оценка.
4. Формулировка какой задачи оптимального приема приведена: «по принятой реализации  $y(t)$  необходимо с минимальной погрешностью определить значение параметра сигнала.  
А. Различение.  
Б. Обнаружения.  
В. Оценка.
5. Формулировка какой задачи оптимального приема приведена: «зная характер шума  $n(t)$  надо по конкретной реализации  $y(t)$ , содержащий процесс  $A(t)$  решить оптимальным способом какая именно реализация процесса  $A(t)$  присутствует в принятом колебании  $y(t)$ .  
А. Разрешение.  
Б. Фильтрация.  
В. Оценка.
6. Формулировка какой задачи оптимального приема приведена: «при возможности наличия двух сигналов в принятой реализации  $y(t)$ , разрешить оптимальным образом для сигнала по параметру  $\lambda$   
А. Разрешение.  
Б. Фильтрация.  
В. Оценка.
7. Как связана апостериорная вероятность с априорной?  
А.  $p_{ps}(\lambda) = p_{pr}(\lambda) \cdot F(\lambda)$   
Б.  $p_{ps}(\lambda) = p_{pr}(\lambda) + F(\lambda)$   
В.  $p_{ps}(\lambda) = \int p_{pr}(\lambda) \cdot F(\lambda) d\lambda$
8. Функционал правдоподобия при фиксированных отчетах сигнала  $y_1, y_2, \dots, y_n$  показывает:  
А. Насколько одно возможное значение параметра  $\lambda$  «более правдоподобно», чем другое.  
Б. Количество предварительно известной информации.  
В. Вероятность появления правильной оценки параметра  $\lambda$ .
9. Какая операция является главной и первой при обработке принятого колебания с целью получения апостериорной плотности вероятности?  
А.  $q(\lambda) = \exp\left(-\frac{E}{N_0}\right) \exp(\lambda)$

Б. 
$$q(\lambda) = \frac{2}{N_0} \int_0^T y(t)s(t, \lambda) dt$$

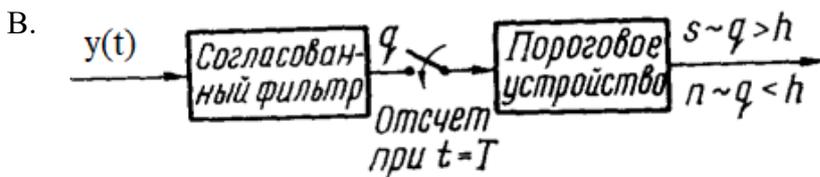
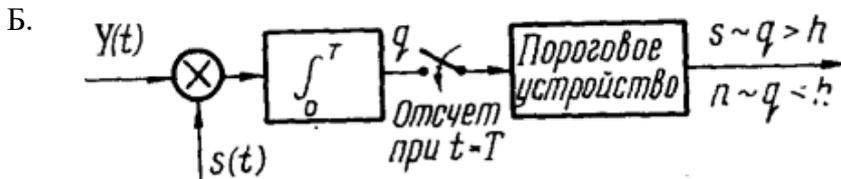
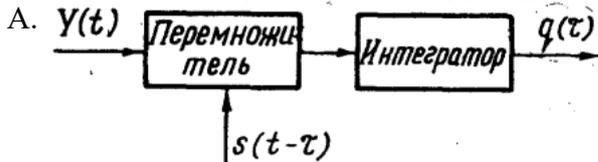
В. 
$$q(\lambda) = -\frac{1}{N_0} \int_0^T y^2(t) dt$$

10. Структурная схема какого устройства приведена на рисунке?



- А. Согласованного фильтра.
- Б. Преобразователя частоты.
- В. Корреляционного приемника.

11. На какой схеме представлена структурная схема оптимального обнаружителя?

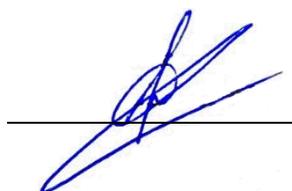


12. Укажите на правильное утверждение

- А. Событие «ложная тревога» возникает в случае, когда сигнал на выходе оптимального приемника превышает порог, но на входе приемника полезный сигнал отсутствует. В этом случае принимается неправильное решение о наличии сигнала.
- Б. Событие «пропуск сигнала» возникает при прохождении (пропускании) его через оптимальный приемник на пороговое устройство. В этом случае принимается решение о наличии сигнала на входе обнаружителя.
- В. Среди вариантов А и Б нет правильного варианта.

- 13 Критерий Неймана Пирсона имеет следующую формулировку:
- А. Оптимальный приемник должен максимизировать вероятность правильного обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги.
  - Б. Пороговый уровень устанавливается таким, чтобы вероятность общей ошибки была минимальной и вероятность правильного решения была максимальной.
  - В. Производится непрерывный анализ отношения правдоподобия и сравнение его с двумя порогами.
- 14 Критерий Идеального наблюдателя имеет следующую формулировку:
- А. Оптимальный приемник должен максимизировать вероятность правильного обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги.
  - Б. Пороговый уровень устанавливается таким, чтобы вероятность общей ошибки была минимальной и вероятность правильного решения была максимальной.
  - В. Производится непрерывный анализ отношения правдоподобия и сравнение его с двумя порогами.
- 15 Критерий Последовательного наблюдателя имеет следующую формулировку:
- А. Оптимальный приемник должен максимизировать вероятность правильного обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги.
  - Б. Пороговый уровень устанавливается таким, чтобы вероятность общей ошибки была минимальной и вероятность правильного решения была максимальной.
  - В. Производится непрерывный анализ отношения правдоподобия и сравнение его с двумя порогами.

Разработчик:

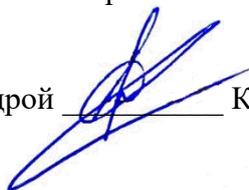


Колесник С.Н., доцент, к.ф.-м.н.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.03. Радиофизика

Программа рассмотрена на заседании кафедры радиофизики и радиоэлектроники «27» февраля 2023 г. протокол № 7

И.О. зав. кафедрой



Колесник С.Н.

*Настоящая программа, не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.*