

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе,
качеству образования, первый
проректор _____
подпись
«__» _____ 2022 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.09 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЦИФРОВОЙ
РАДИОСВЯЗИ**

Направление подготовки 03.04.03 Радиофизика

Направленность (профиль) Квантовые устройства и радиофотоника

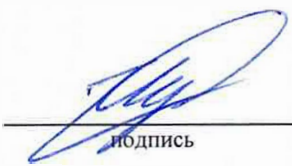
Форма обучения очная

Квалификация магистр

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика»

Программу составил:

Д.В. Иус, канд. пед. наук,
доцент кафедры оптоэлектроники



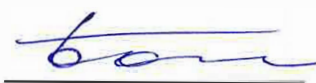
подпись

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры оптоэлектроники ФТФ, протокол № 8 от 07 апреля 2022 г.
Заведующий кафедрой оптоэлектроники
д-р техн. наук, профессор Н.А. Яковенко



подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета, протокол № 13 от 16 апреля 2022 г.
Председатель УМК ФТФ
д-р физ.-мат. наук, профессор Н.М. Богатов



подпись

Рецензенты:

Попов А.В., директор ООО "Партнер Телеком"

Скачедуб А.В., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики и информационных систем

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цель освоения дисциплины.

Обучить студентов основам теории и практики формирования и обработки сигналов в системах передачи информации. Изучить основные закономерности и методы передачи сообщений по каналам связи, вопросы анализа помехоустойчивости и пропускной способности систем связи, методы помехоустойчивого кодирования, способы оптимального приема сообщений, принципы многоканальной передачи информации, основы цифровой обработки сигналов, вопросы оптимизации систем связи.

Дать основные сведения по теории связи и методам передачи информации. Ознакомить обучающихся с принципами построения аналоговых и цифровых систем связи.

1.2. Задачи дисциплины:

- Изучить теорию детерминированных сигналов, обратив основное внимание на ортогональные преобразования при их обработке.
- Изучить свойства частотных спектров сигналов и спектрального метода анализа процесса взаимодействия сигналов и систем.
- Овладеть методом корреляционного анализа сигналов.
- Познакомиться с теоретическими основами аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей.
- Познакомиться с основами теории дискретных сигналов, рассмотреть методы спектрального анализа и фильтрации дискретных сигналов.
- Ознакомиться с алгоритмами работы и принципами построения цифровых фильтров.
- Освоить основные вопросы теории оптимальной (согласованной) фильтрации.
- Изучить теорию узкополосных радиосигналов.
- Изучить теорию широкополосных радиосигналов.
- Ознакомиться с основными методами модуляции и манипуляции.
- Познакомиться с принципами построения многоканальных систем связи (систем уплотнения).
- Познакомиться с принципами помехоустойчивого кодирования.
- Изучить вопросы формирования, обработки и применения сложных сигналов в широкополосных системах связи.

-

- II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

2.1. Курс "Системы связи. Цифровые методы обработки сигналов " относится к части программы, формируемой участниками образовательных отношений дисциплин подготовки высококвалифицированных специалистов, владеющих современными методами анализа и синтеза систем и устройств связи различного назначения. Курс соответствует Государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования по направлению «Радиофизика 03.03.03».

2.2 Данный курс является составной частью интегрированной образовательной программы, включающей бакалавриат и магистратуру. Смежные курсы: "Основы радиоэлектроники", "Мобильные системы связи".

Программа по курсу «Системы связи Цифровые методы обработки сигналов» лекционный курс, задание на самостоятельную работу. Форма контроля – зачет.

III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности):

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

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	ОПК-1.1 Знает фундаментальные законы физики и радиофизики ОПК-1.2 Умеет применять базовые знания в области физики и радиофизики в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности ОПК-1.3 Владеет теоретическим и экспериментальным аппаратом для решения задач профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	Знает информацию, необходимую для решения поставленной задачи Умеет разрабатывать решение конкретной задачи, выбирая оптимальный вариант, оценивая его достоинства и недостатки Владеет навыками формулирования в рамках поставленной цели проекта совокупности взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение Умеет определять ожидаемые результаты решения выделенных задач
ПК-1. Способность организовывать и проводить научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу самостоятельно и в составе научного коллектива	ПК-1.1 Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований ПК-1.2 Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам ПК-1.3 Управление результатами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ	Знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации Умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования Владеет способами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений

IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов,

7 семестр 5 зачетных единиц, 180 часов, форма отчетности: зачет

4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов. Форма обучения: очная

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа преподавателя с обучающимися				Самостоятельная работа	
			Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия	Контроль		
1	Обработка дискретных и цифровых сигналов	7	18	18		36		Решение задач, учет посещений лекций, экзамен
Итого часов			18	18		36	36	

4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
1	Обработка дискретных и цифровых сигналов	Решение задач, Теоретические обзоры	до конца 7-го семестра	36	Правильное решение задачи	
Общая трудоемкость самостоятельной работы по дисциплине (час)				36		
Бюджет времени самостоятельной работы, предусмотренный учебным планом для данной дисциплины (час)				36		

4.3. Содержание учебного материала второй части.

1. Системы связи, канал, модемы, модуляторы, кодеры. Радиослужбы. Использование радиоспектра. Количественные характеристики систем связи: помехоустойчивость, помехозащищенность, верность, категория обслуживания, время действия, вероятность обслуживания, скорость передачи данных.
2. Модуляция. Системы связи с амплитудной модуляцией (получение, детектирование, спектры): АМ с подавлением несущей. Автоматическая подстройка частоты и фазы. АМ с большим уровнем несущей. Однополосная АМ. Сравнительный анализ трех видов АМ.
3. Системы связи с угловой модуляцией (получение, демодулирование, спектры): узкополосная ЧМ; широкополосная ЧМ.
4. Фазовая модуляция. Частотная и фазовая манипуляции; относительная фазовая манипуляция.
5. Системы связи с импульсной модуляцией: АИМ, ШИМ, ФИМ.
6. Модуляция в цифровых системах связи. АМ, ЧМ, ИКМ, дельта-модуляция.
7. Многоканальное уплотнение: системы частотного и временного уплотнения. Полоса частот при частотном и временном уплотнении.
8. Кодирование. Назначение и классификация кодов. Обыкновенные коды: равномерные, неравномерные. Коды с обнаружением ошибок. Коды с обнаружением и исправлением ошибок.
9. Широкополосные системы связи (ШСС). Основы применения широкополосных сигналов в СС. Помехоустойчивость, помехозащищенность, скрытность ШСС. Кодовое разделение абонентов. Электромагнитная совместимость. Основные виды ШПС. Взаимно-корреляционные ШСС. Широкополосная взаимно-корреляционная СС "Рейк".. Автокорреляционные ШСС: основные принципы построения, примеры СС. Дискретно-адресные ШСС. Общие сведения, формирование и декодирование сигналов. Практические СС адресной связи.

V. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Наименование тем занятий с использованием активных форм обучения.

Активные формы не используются. Взамен проводится детальный анализ результатов выполнения лабораторных работ.

VI. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

текущий контроль в форме учета посещений лекций и практических занятий, учет выполнения домашних заданий;

рубежный контроль в форме оценок качества выполнения контрольных работ;

промежуточная аттестация - контрольные мероприятия для промежуточного и рубежного контроля по модулям рабочей программы с оценкой успеваемости на основе балльно - рейтинговой системы

ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Общая теория связи»

(наименование дисциплины)

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины*	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства**
Дисциплина состоит из двух частей			

Модули			
1.	Модуль 1. Системы связи, канал, модемы, модуляторы, кодеры. Узкополосные аналоговые системы связи (СС). Узкополосная ЧМ. Широкополосная ЧМ. Системы связи с импульсной модуляцией: АИМ, ШИМ, ФИМ. <u>СС с уплотнением</u>	ОПК-1 ПК-1	Домашняя работа 1.
2.	<u>Модуль 2. Системы цифровой связи.</u> ИКМ, ДИКМ, дельта-модуляция: Амплитудная, частотная, фазовая манипуляция. Относительная фазовая манипуляция. Квадратурная фазовая манипуляция. <u>Кодирование.</u> Код с обнаружением и исправлением ошибок. <u>Широкополосные системы связи (ШСС).</u> Взаимно-корреляционные ШСС. Широкополосная взаимно-	ОПК-1 ПК-1	Домашняя работа 2.

Список лабораторных работ

1. Цифровая система связи.
2. Исследование спектров сигналов.
3. Детектирование АМ колебаний.
4. Исследование детектора ЧМ сигналов.
5. Исследование аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования сигналов.
6. Исследование спектров модулированных сигналов.
7. Исследование помехоустойчивости системы связи при разных видах модуляции.

Вопросы домашней работы №1.

1. Узкополосный сигнал. Квадратурные составляющие. Спектр.
2. Корреляционная функция. Корреляционный прием. Дискретизация.
3. Системы связи с амплитудной модуляцией. АМ с подавлением несущей.
4. Однополосная АМ.
5. АМ с большим уровнем несущей.
6. Узкополосная частотная модуляция. Модуляторы, демодуляторы. Спектр.
7. Широкополосная частотная модуляция. Спектр, помехоустойчивость. Получение.
8. Системы связи с импульсной модуляцией: АИМ, ИКМ.
9. Дифференциальная ИМ. Дельта-модуляция. Схемы модулятора и демодулятора.
10. Многоканальное уплотнение: частотное и временное.

Вопросы домашней работы №2.

1. Коды с исправлением ошибок.
2. Широкополосные системы связи. Взаимно-корреляционные системы. Система "Рэйк".
3. Автокорреляционные широкополосные системы связи.
4. Дискретно-адресные системы широкополосной связи.
5. Системы связи с ППРЧ.
6. Системы связи с повышенной помехоустойчивостью.
7. Системы цифровой связи. Типы манипуляции: АМ, ЧМ, ФМ.
8. Относительная фазовая манипуляция.
9. Системы связи ВЧ диапазона.

VII. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Литература.

1. Гоноровский С.И. - Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Дрофа, 2006. 719. а также более старое издание М.: Радио и связь, 1986.
2. Баскаков С.И. - Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1988. 448.
3. Сергеев А.Б. - Цифровая обработка сигналов., СПб.: Питер, 2003, 608. и 2-е издание – СПб.: Питер, 2006.
4. Соломина А.И. и др. - Основы цифровой обработки сигналов. СПб.: БХВ-Петербург, 2003, 608.
5. Теория передачи сигналов. Авторы: Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В. Финк Л.М. - М.: "Связь", 1980.
6. Теория электрической связи. Ред. Кловский Д.Д. - М.: Радио и связь, 1999. 432.
7. Скляр Б. - Цифровая связь. М.: Изд. дом "Вильямс", 2004. 1104.
8. Томаси У. - Электронные системы связи. Москва: Техносфера, 2007. 1360.

Дополнительная литература.

1. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. – Цифровая обработка сигналов, СПб.: Политехника, 1999 г. 592.
2. Залманзон Л.А. - Преобразования Фурье, Уолша и Хаара и их приложения. М.: Наука, 1988. 496.
3. Латхи Б.П. - Система передачи информации. Из-во "Связь", М., 1971.324.
4. Стейн С., Джонс Дж. - Принципы современной теории связи и их применение к передаче дискретных сообщений. Из-во "Связь", М., 1971.373.
5. Пенин П.И., Филиппов Л.И. - Радиотехнические системы передачи информации. М., "Радио и связь", 1984.

VIII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Учебно-лабораторное оборудование

Стандартно оборудованная лекционная аудитория. Для проведения интерактивных лекций – компьютерный класс с мультимедийным проектором в комплекте с экраном.

8.2. Программные средства

PDF-Reader, Microsoft Office.

8.3. Технические и электронные средства

Лаборатория для выполнения лабораторного практикума, оснащенная необходимыми стендами (макетами), измерительными приборами и учебно-методической литературой. Персональные компьютеры, полностью оснащенных стендами и измерительными приборами..

8.4. Список лабораторных работ.

8. Цифровая система связи.
9. Исследование спектров сигналов.
10. Детектирование АМ колебаний.
11. Исследование детектора ЧМ сигналов.
12. Исследование аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования сигналов.
13. Исследование спектров модулированных сигналов.
7. Исследование помехоустойчивости системы связи при разных видах модуляции.

IX. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Широкополосные сигналы. Учебно-методическое пособие для студентов по направлению «Телекоммуникации» Ростов-на-Дону, 2008.
2. Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Цифровые фильтры. Учебно-методическое пособие для

студентов по направлению «Телекоммуникации» Ростов-на-Дону, 2008.

Х. УЧЕБНАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

«Общая теория связи» на 7 семестр

Трудоемкость: 5 зач.ед., зачет – 36 час.

Преподаватель – проф. Барабашов Б.Г.

Курс 4. Семестр 7. Направление подготовка «Радиофизика»

Наименование образовательной программы: «Радиофизика»

№	Виды контрольных мероприятий	Текущий контроль	Рубежный контроль (при наличии)
	Модуль 1	44	6
1	Посещение лекций	10	
2	Выполнение самостоятельной работы (письменный отчет)	34	
	Модуль 2	44	6
1.	Посещение лекций	10	
2.	Выполнение самостоятельной работы (письменный отчет)	34	
	Итого	100	
	Бонусные баллы		до 10
	Промежуточная аттестация в форме зачета		

Преподаватель:

Барабашов Б.Г.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»
(ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Системы связи. Цифровые методы обработки
случайных сигналов**

**Часть 2. Цифровые методы обработки случайных
сигналов**

Код и наименование направления подготовки:
030303 радиофизика

Направленность (профиль):
Общий профиль

Форма обучения:
Очная

Подписано электронной подписью:
М.Б. Мануилов, декан физического
факультета

Сертификат №
02f0d9a9003bad648d4fcbc1d95a1cee16

действителен с 2 июня 2021 г. 13:13:25 по 2
июня 2022 г. 12:56:37

Ростов-на-Дону, 2021

Составитель(и) программы:

Г.Г. Вертоградов, д.ф.-м.н., профессор

Программа одобрена на заседании кафедры радиофизики

«02» марта 2021 г., протокол № 19

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Целями освоения дисциплины "Цифровые методы обработки сигналов" являются:

- Изложить основные этапы анализа случайных данных: сбор и предварительная обработка, оценивание корреляционных функций, спектральных характеристик, оценка надежности полученных результатов.
- Дать достаточно полный обзор существующих методов спектрального оценивания и их практических реализаций.
- Познакомить студентов с практикой цифровой фильтрации и спектрального оценивания, которая в большей степени базируется на эмпирическом опыте, а не на солидной теоретической основе.

Задачи:

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- Сформировать у студентов теоретические понятия и представления, используемые современными цифровыми методами спектрального оценивания.
- Изучить классические цифровые методы оценивания моментов случайных процессов и спектральных характеристик.
- Сформировать у студентов представления об основных современных методах спектрального оценивания и способах их алгоритмической реализации.
- Рассмотреть вопросы возможности организации процессов спектральной обработки информации в реальном масштабе времени на основании наиболее популярных алгоритмов оценок СПМ.
- Дать студентам ясное представление о границах применимости различных методов спектрального оценивания, их преимуществах и недостатках.
- В результате изучения курса студенты должны освоить основные понятия и принципы современной теории цифрового спектрального анализа. Научиться применять полученные знания для цифровой спектральной обработки случайных сигналов ограниченной длительности.

II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

2.1. Учебная дисциплина (модуль) Цифровые методы обработки сигналов относится к циклу профессиональный (дисциплины по выбору)

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: "Математический анализ", "Теория функций комплексных переменных и дифференциальные уравнения", "Линейная алгебра", "Основы теории вероятности", "Численные методы", "Цифровые методы обработки сигналов".

Знания: базовые теоретические положения и математические методы, которые лежат в основе современных цифровых методов корреляционного и спектрального оценивания; классические методы обработки детерминированных сигналов.

Умения: свободно владеть методами теории вероятности, линейной алгебры, математического анализа; владеть основами программирования на одном из современных языков; пользоваться интерактивными математическими пакетами обработки информации.

Навыки: навыками использования методов обработки детерминированных сигналов; навыками работы с математическими интерактивными пакетами обработки информации; навыками написания простейших программ на языке С и/или C++.

2.3. Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для курсов: "Научно-исследовательская работа", "Цифровая схемотехника", "Радиоэлектронные системы", "Радиофизический практикум".

III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности):

общефессиональных компетенций (ОПК):

ОПК-1 – Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности.

ОПК-3 – Способен использовать информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности.

профессиональных компетенций (ПК):

ПК-1 – Способность организовывать и проводить научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу самостоятельно и в составе научного коллектива.

ПК-2 – Способность эксплуатировать и развивать радиоэлектронные средства и комплексы различного функционального назначения.

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

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности.	<i>ОПК-1.1</i> Знает фундаментальные законы физики и радиофизики <i>ОПК-1.2</i> Умеет применять базовые знания в области физики и радиофизики в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности <i>ОПК-1.3</i> Владеет теоретическим и экспериментальным аппаратом для решения задач профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	Знания: базовые теоретические положения, которые лежат в основе современных цифровых методов корреляционного и спектрального оценивания; классические методы оценивания математического ожидания, корреляционной функции и спектральной плотности мощности стационарного случайного процесса; современные непараметрические и параметрические методы цифрового спектрального оценивания. Умения: правильно представлять возможности существующих цифровых методов корреляционного и спектрального оценивания и область их применения Навыки: навыками использования линейных корреляционных и спектральных методов цифровой обработки сигналов.

ОПК-3 Способен использовать информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	<i>ОПК-3.1.</i> Использует информационно-коммуникационные технологии при поиске необходимой информации <i>ОПК-3.2.</i> Знает современные интерактивные программные комплексы и основные приемы обработки экспериментальных данных, в том числе с использованием стандартного программного обеспечения, пакетов программ общего и специального назначения <i>ОПК-3.3.</i> Владеет методами компьютерного моделирования физических процессов при передаче информации, техникой инженерной и компьютерной графики	Знания: современные непараметрические и параметрические методы цифрового спектрального оценивания. Умения: использовать современные методы обработки сигналов составления сложных программно-аппаратных комплексов обработки информации в реальном масштабе времени. Навыки: разработки алгоритмов для извлечения информационных параметров и функций, описывающих явления природы, из случайной последовательности данных.
ПК-1 Способность организовывать и проводить научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу самостоятельно и в составе научного коллектива.	ПК-1.1 Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований ПК-1.2 Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам ПК-1.3 Управление результатами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ	Знания: понимать принципы работы современной радиотехнической аппаратуры в условиях приема случайных данных; методы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры в условиях шумов и помех естественного или искусственного происхождения. Умения: правильно выбирать режимы функционирования современной радиоэлектронной аппаратуры в условиях реальных шумов и помех; корректно использовать методы обработки случайных данных для минимизации влияния помех и шумов. Навыки: обработки случайной информации современными корреляционными и спектральными методами.

ПК-2 Способность эксплуатировать и развивать радиоэлектронные средства и комплексы различного функционального назначения.	ПК-2.1 Техническое обслуживание сложных функциональных узлов радиоэлектронной аппаратуры ПК-2.2 Техническое обслуживание радиоэлектронной аппаратуры ПК-2.3 Организационно-методическое обеспечение технической эксплуатации радиоэлектронных комплексов	Знания: численных методов компьютерной обработки случайных данных корреляционными и спектральными методами. Умения: применять современные корреляционные и спектральные методы для разработки программного обеспечения на одном из языков программирования; использовать интерактивные математические пакеты для обработки случайных данных. Навыки: в использовании современных компьютерных технологий для обработки случайных данных.
---	---	--

IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц , 108 часов, 14 – лекции, 28 – практические, 66 – самостоятельная работа
Форма отчетности: зачет

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

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
			Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия		
1.	Основные понятия и методы теории случайных функций.	8	6	12		30	Решение задач, учет посещений, теоретический тест №1.
2.	Практические классические методы корреляционного и спектрального анализа случайных данных.	8	8	16		36	Решение задач, учет посещений, теоретический тест №2.
Итого часов			14	28		66	

4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
1.	Основные понятия и методы теории случайных функций.	Решение задач	До середины семестра	30	Правильные подходы и ответы в решении задач	Примеры подходов и методов решения задач
2.	Практические классические методы корреляционного и спектрального анализа случайных данных.	Решение задач	До конца семестра	36	Правильные подходы и ответы в	Примеры подходов и методов

					решении задач	решения задач
Общая трудоемкость самостоятельной работы по дисциплине (час)				66		
Бюджет времени самостоятельной работы, предусмотренный учебным планом для данной дисциплины (час)				66		

4.3 Содержание учебного материала

Модуль 1. Основные понятия и методы теории случайных функций.

1. Введение. Задачи курса, его содержание. Общая характеристика современных методов спектрального оценивания. Основные свойства стационарных случайных функций. Определение случайной функции.
2. Методы описания случайных функций. Моменты случайной функции. Корреляционная теория. Стационарность. Свойства корреляционной функции.
3. Спектральное разложение стационарного случайного процесса. Спектральное разложение корреляционной функции. Теорема Бохнера-Хинчина. Теорема Винера-Хинчина.
4. Понятия несмещенной и состоятельной оценки. Оценка среднего значения по результатам наблюдений. Эргодическая теорема для математического ожидания. Рекурсивное оценивание математического ожидания. Первое определение эффективного радиуса корреляции и его смысл.
5. Оценивание корреляционной функции по результатам наблюдений. Эргодическая теорема для корреляционной функции. Корреляционное окно. Рекурсивное оценивание дисперсии. Второе определение эффективного радиуса корреляции и его смысл.
6. Дисперсия оценки математического ожидания белого шума на выходе низкочастотного фильтра. Дисперсия оценки корреляционной функции белого шума на выходе низкочастотного фильтра. Смысл и интерпретация полученных соотношений.
7. Оценивание спектральной плотности мощности стационарного случайного процесса. Смещенность оценки СПМ. Несостоятельность оценки СПМ. Корреляционная функция оценки СПМ.
8. Теоретические основы классических методов оценивания спектральной плотности мощности. Метод осреднения по ансамблю. Метод осреднения по частоте. Спектральное окно.

Модуль 2. Практические классические методы корреляционного и спектрального анализа случайных данных.

1. Практическое оценивание СПМ классическими методами. Классические методы спектрального анализа (периодограммный метод).
2. Явление Утечки. Временное окно на данные.
3. Коррелограммный метод оценки СПМ.
4. Периодограммный метод оценки СПМ; Комбинированные периодограммные-коррелограммные оценки.
5. Дискретное преобразование Фурье и его свойства.
6. Связь дискретного и непрерывного преобразований.
7. Равенство Парсевала в непрерывном и дискретном случаях.
8. Линейная и круговая свертки. Эффекты элайзинга в частотной и временной областях, эффекты подмены частоты.
9. Спаренное преобразование Фурье. Преобразование Фурье двойной длины.
10. Быстрые алгоритмы дискретного преобразования Фурье. Алгоритмы Кули-Тьюки. Разрешение и произведение «устойчивость * длительность * ширина полосы».
11. Практические алгоритмы классического спектрального оценивания.

V. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Наименование тем занятий с использованием активных форм обучения:

№	Тема занятия	Вид занятия	Форма / Методы интерактивного обучения	Колво часов
1	Введение. Задачи	Лекции.	Решение задач	1, 1

	курса, его содержание. Общая характеристика современных методов спектрального оценивания. Основные свойства стационарных случайных функций. Определение случайной функции.	Практическое		
2	Методы описания случайных функций. Моменты случайной функции. Корреляционная теория. Стационарность. Свойства корреляционной функции.	Лекции. Практическое	Решение задач	1, 1
3	Спектральное разложение стационарного случайного процесса. Спектральное разложение корреляционной функции. Теорема Бохнера-Хинчина. Теорема Винера-Хинчина.	Лекции. Практическое	Решение задач	1, 1
4	Понятия несмещенной и состоятельной оценки. Оценка среднего значения по результатам наблюдений. Эргодическая теорема для математического ожидания. Рекурсивное оценивание математического ожидания. Первое определение эффективного	Лекции. Практическое	Решение задач	1, 1

	радиуса корреляции и его смысл.			
5	Оценивание корреляционной функции по результатам наблюдений. Эргодическая теорема для корреляционной функции. Корреляционное окно. Рекурсивное оценивание дисперсии. Второе определение эффективного радиуса корреляции и его смысл.	Практическое	Решение задач	1, 1
6	Дисперсия оценки математического ожидания белого шума на выходе низкочастотного фильтра. Дисперсия оценки корреляционной функции белого шума на выходе низкочастотного фильтра. Смысл и интерпретация полученных соотношений.	Практическое	Решение задач	1, 2
7	Оценивание спектральной плотности мощности стационарного случайного процесса. Смещенность оценки СПМ. Несостоятельность оценки СПМ. Корреляционная функция оценки СПМ.	Лекции. Практическое	Решение задач	1, 2
8	Теоретические основы классических методов оценивания спектральной	Лекции. Практическое	Решение задач	2, 1

	плотности мощности. Метод осреднения по ансамблю. Метод осреднения по частоте. Спектральное окно.			
9	Практическое оценивание СПМ классическими методами. Классические методы спектрального анализа (периодограммный метод).	Лекции. Практическое	Решение задач, разработка программного обеспечения по классическим методам спектрального анализа	1, 2
10	Явление Утечки. Временное окно на данные.	Лекции. Практическое	Решение задач, изучение свойств окон на основе разработанного программного обеспечения	1, 1
11	Коррелограммный метод оценки СПМ.	Лекции. Практическое	Решение задач, программная реализация	2, 2
12	Периодограммный метод оценки СПМ; Комбинированные периодограммные-коррелограммные оценки.	Лекции. Практическое	Решение задач, программная реализация	1, 1
13	Дискретное преобразование Фурье и его свойства.	Лекции. Практическое	Решение задач, программная реализация	1, 2
14	Связь дискретного и непрерывного преобразований.	Лекции. Практическое	Решение задач	1, 1
15	Равенство Парсеваля в непрерывном и дискретном случаях.	Лекции. Практическое	Решение задач	1, 2
16	Линейная и круговая свертки. Эффекты элайзинга в частотной и временной областях, эффекты подмены частоты.	Лекции. Практическое	Решение задач, программная реализация	2, 2
17	Спаренное преобразование Фурье. Преобразование Фурье двойной длины.	Лекции. Практическое	Решение задач, программная реализация	1, 1
18	Быстрые алгоритмы дискретного	Лекции. Практическое	Решение задач, программная реализация	2, 2

	преобразования Фурье. Алгоритмы Кули-Тьюки. Разрешение и произведение «устойчивость *длительность *ширина полосы».			
19	Практические алгоритмы классического спектрального оценивания.	Лекции. Практическое	Решение задач, программная реализация	2, 2
Итого часов				14, 28

Университета (ЭО и ДОТ). Аудиторные занятия и другие формы контактной работы обучающихся с преподавателем могут проводиться с использованием платформ Microsoft Teams, MOODLE и других, в том числе, в режиме онлайн-лекций и онлайн-семинаров».

VI. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

текущий контроль в форме устных тестов, проверка домашних заданий,
рубежный контроль в форме письменных теоретических тестов и контрольных работ,
промежуточная аттестация – итоговый контроль в форме зачета (зачет с оценкой успеваемости на основе балльно - рейтинговой системы).

VII. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература.

1. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. - М.: Техносфера, 2012. – 1048 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. — 3-е изд. -БХВ-Петербург, 2011. - 768 с.

7.2. Дополнительная литература.

1. Ричард Лайонс Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. - М.:ООО Бином-Пресс,2013. –656 с.
2. Умняшкин С. В Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов : учеб. Пособие. - М.: ИД «ФОРУМ»:ИНФРА-М, 2012. –368 с.
3. Марпл-мл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. - М.:Мир, 1990 г., – 584 с., ил.
4. Яглом А.М. Корреляционная теория стационарных случайных процессов. Ленинград гидрометеоздат, 1981 г. – 280 с.
5. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. - М.:Мир, 1989 г., – 448 с., ил.
6. Введение в цифровую фильтрацию. Под ред. Р. Богнера и А. Константинодиса: Пер. с англ. - М.: Мир, 1976. - 216 с.
7. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. - 848 с.
8. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. - М.:Мир, 1982 г. – 428 с., ил.
9. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных - М.:Мир, 1989. –540 с.

10. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. - 1104 с.
11. Л.В. Новиков Основы вейвлет-анализа сигналов. Санкт-Петербург, 1999г. – 152 с.
12. Д.У.Тафтс, Р.Кумаресан. Оценка частот суммы нескольких синусоид: Модификация метода линейного предсказания, сравнимая по эффективности с методом максимального правдоподобия.//ТИИЭР, т.70, №9, 1982.С.77-94.
13. Х.Л. Никиас, М.Р.Рагувер Биспектральное оценивание применительно к цифровой обработке сигналов//ТИИР, т.75,№7,1987. С.5-30.
14. С.Н.Кей, С.Л.Марпл Современные методы спектрального анализа. Обзор. //ТИИЭР, т.69, №11, 1981. С.5-51.
15. М.И.Миллер, Д.Л.Снайдер. Роль правдоподобия и энтропии в задачах с неполными данными: Приложения к задачам оценивания интенсивности точечных процессов и условных теплецевых ковариаций.//ТИИЭР, т.75, №7. 1987г. С.31-50.
16. Э.Т.Джейнс. О логическом обосновании методов максимальной энтропиию.//ТИИЭР, т.70, №9. 1982. С.33-51.
17. Д.Дж.Томсон. Спектральное оценивание и гармонический анализ.//ТИИЭР, т.70, №9. 1982г., С.171–219.
18. Д.Дж.Чайлдс, Д.П.Скиннер, Р.Ч.Кемерейт Кепстр и его применение при обработке данных. Обзор.//ТИИЭР, т.65, №10, 1977. С.5-21.
19. Макс Ж Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. М.:Мир, 1983. Т.1. –312 с.
20. Грибунин В.Г. Глоссарий по цифровой обработке сигналов (предварительная версия) / http://d.theupload.info/download/x94bmuhf2ffnek6pg3mnporgw9h2p8if/gribunin_v_g_glossarii_po_cifrovoi_obrabotke_signalov.pdf –28с.
21. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002, –608 с.

7.3. Список авторских методических разработок.

Программа для интерактивной корреляционной и спектральной обработки данных spectr (spectr.exe), работающая под управлением операционных систем Linux OpenSuSe-15.2, Debian и Windows 7. (исполняемый файл для выбранной ОС предоставляется преподавателем).

7.4. Периодические издания

7.5. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

Цифровая обработка сигналов: <http://ru.dsplib.org/>

Научная библиотека избранных естественно-научных изданий: <http://sernam.ru/>

Теория и практика вейвлет-преобразования: <http://autex.spb.ru/wavelet/books.htm>

Самая большая бесплатная электронная библиотека BookZZ: <http://ru.bookzz.org/>

Электронно-библиотечная система (ЭБС) ЮРАЙТ www.biblio-online.xn--ru-efa

7.6. Программное обеспечение информационно-коммуникационных технологий

Операционные системы Linux OpenSuSe-15.2, , Debian, Windows Xp/2000/7/8/10/ с возможностью выхода в всемирную компьютерную сеть Интернет.

VIII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Учебно-лабораторное оборудование.

8.2. Программные средства.

Microsoft Windows, Microsoft Office, Windows CAL's - Договор 232.02.02.03-16/60 от 10.08.2018 г., с 10.08.2018 г. по 10.08.2019 г.; Договор №232.02.02.03-16/46 от 30.08.2019 г., с

31.07.2019 г. по 30.07.2020 г.; Государственный контракт № SC-P/5679-01/07 от 04.12.2007 г., с 21.12.2007 г. (срок использования ПО неограничен).

Один из интернет-браузеров.

8.3. Технические и электронные средства.

Персональные компьютеры под управлением ОС Linux OpenSuSe-15.2, Debian или Windows Xp/2000/7/8/10/.

IX. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Если учебные занятия проводятся с использованием ЭО и ДОТ, то при их организации и проведении необходимо руководствоваться соответствующими Методическими рекомендациями, утвержденными Приказом ректора ЮФУ № 394 от 17 марта 2020 г. и инструкцией, размещенной по адресу:

https://sfedu-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/pvmakhno_sfedu_ru/EQjmJR-m9VNOrcfHDIwB_xwBWIDobp8_WCpx-_G6jnQ-dA?e=kWQ6iP%F1

При использовании платформы MOODLE (сервис ДОТ ЮФУ) необходимо руководствоваться соответствующей инструкцией, размещенной по адресу: <http://urtest.sfedu.ru/>

Х. УЧЕБНАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Каналы передачи данных. Цифровые методы обработки случайных сигналов Часть 2. «Цифровые метода обработки случайных сигналов»

3 зач.ед.; ак.ч всего: - 108 час., в т.ч.: лекций - 14 час., практических занятий - 28 час.,
самостоятельная работа студентов - 66 час.

Преподаватель - проф. Вертоградов Г.Г.

Кафедра Радиофизики

Курс 4 Семестр 8 Направление подготовки (специальность) 03.03.03 - Радиофизика, профиль – физика радиоволн.

№	Виды контрольных мероприятий	Текущий контроль	Рубежный контроль (при наличии)
	Модуль 1	21	29
1.	Посещение лекций и практических занятий	21	
2.	Выполнение самостоятельных индивидуальных заданий		14
3.	Контрольная работа		15
	Модуль 2	21	29
1.	Посещение лекций и практических занятий	21	
2.	Выполнение самостоятельных индивидуальных заданий		14
3.	Контрольная работа		15
	Всего	42	58
	Итого	100	
	Промежуточная аттестация в форме зачета		Зачет проводится при личном собеседовании со студентом, если в этом имеется необходимость.
	Итого	100	
	Бонусные баллы		до 10

Преподаватель _____



подпись

Вертоградов Г.Г.

расшифровка подписи

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»
(ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Системы связи. Цифровые методы
обработки случайных сигналов**
**Часть 2. Цифровые методы обработки
случайных сигналов**

Направление подготовки
030303 радиофизика

Подписано электронной подписью:
М.Б. Мануилов, декан физического
факультета

Сертификат №
02f0d9a9003bad648d4fcbc1d95a1cee16

действителен с 2 июня 2021 г. 13:13:25 по 2
июня 2022 г. 12:56:37

Ростов-на-Дону, 2021

ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЕТЕНЦИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ДИСЦИПЛИНОЙ
Цифровые методы обработки случайных сигналов
(наименование дисциплины)

Код компетенции	Формулировка компетенции
1	2
ОПК	ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ
ОПК–1	Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности.
ОПК–3	Способен использовать информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности
ПК	ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ
ПК–1	Способность организовывать и проводить научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу самостоятельно и в составе научного коллектива.
ПК-2	Способность эксплуатировать и развивать радиоэлектронные средства и комплексы различного функционального назначения.

ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
Цифровые методы обработки случайных сигналов
(наименование дисциплины)

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины*	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства**
1.	Модуль 1. Основные понятия и методы теории случайных функций.	ОПК-1, ОПК-3, ПК-1, ПК-2	Контрольная работа, Проверка домашних заданий по разработке ПО.
2.	Модуль 2. Практические классические методы корреляционного и спектрального анализа случайных данных.	ОПК-1, ОПК-3, ПК-1, ПК-2	Контрольная работа, проверка домашних заданий по разработке ПО.

* Наименование раздела указывается в соответствии с рабочей программой дисциплины.

**Наименование оценочного средства указывается в соответствии с учебной картой дисциплины.

Оформление комплекта заданий для контрольной работы

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет
Структурное подразделение

Кафедра радиофизики
(наименование кафедры)

Комплект заданий для контрольной работы по дисциплине Цифровые методы обработки случайных сигналов (наименование дисциплины)

Тема 1. Основные понятия и методы теории случайных функций.

Вариант 1

1. Дайте определение случайной функции.
2. Приведите примеры стационарных сигналов.
3. Назовите основное фундаментальное свойство корреляционной функции.
4. Как и по каким причинам используется рекурсивное оценивание дисперсии в реальном масштабе времени.
5. Как связана дисперсия оценки математического ожидания стационарного процесса по конечной выборке с дисперсией стационарного случайного процесса?
6. Назовите основные свойства спектра стационарного случайного процесса.
7. Назовите основное фундаментальное свойство спектральной плотности мощности, и с каким свойством корреляционной функции оно связано.
8. Что Вы можете сказать о статистических свойствах оценок математического ожидания и корреляционной функции?
9. Приведите рекурсивную формулу для оценки математического ожидания.
10. Для каких целей используют корреляционные окна?
11. Поясните смысл несмещенности оценки.
12. Поясните смысл эффективности оценки.
13. Сформулируйте теорему Винера-Хинчина.
14. Поясните операцию центрирования случайного процесса.
15. Чему равно значение корреляционной функции стационарного процесса в нуле?

Вариант 2

1. Дайте определение стационарного в узком и широком смысле процесса.
2. Приведите примеры случайных сигналов допускающих полное статистическое описание.
3. Как и по каким причинам используется рекурсивное оценивание математического ожидания в реальном масштабе времени.
4. Поясните смысл радиуса корреляции.
5. Как связана дисперсия оценки дисперсии стационарного процесса по конечной выборке с дисперсией стационарного случайного процесса?
6. Какие случайные процессы связывает уравнение Крамера?

7. Как связаны между собой спектральная плотность мощности и спектр стационарного случайного процесса.
8. Приведите формулы для оценок математического ожидания и корреляционной функции по дискретной выборке конечной длины.
9. Приведите рекурсивную формулу для оценки дисперсии.
10. Приведите формулы для несмещенной и смещенной оценок корреляционной функции.
11. Поясните смысл состоятельности оценки.
12. Сформулируйте теорему Бохнера-Хинчина.
13. Дайте определение положительно определенной функции.
14. Установите связь между корреляционной функцией случайного процесса и корреляционной функцией централизованного случайного процесса.
15. Сформулируйте свойство непрерывности корреляционной функции.

Тема 2. Практические классические методы корреляционного и спектрального анализа случайных данных.

Вариант 1

1. Какие способы получения состоятельных оценок на основе периодограммного метода Вы знаете?
2. Чем определяется предельное спектральное разрешение спектрального анализа на основе периодограммного метода?
3. Как изменяет дисперсию оценок СПМ использование спектральных окон (увеличивает или уменьшает)?
4. Как связаны между собой корреляционные и спектральные окна?
5. Назовите способы борьбы с эффектом утечки.
6. Назовите преимущества и недостатки спектрального оценивания на основе алгоритма Блэкмена-Тьки.
7. Поясните, как можно использовать алгоритм комплексного ДПФ для вычисления спектра действительной последовательности?
8. Что такое круговая свертка?
9. Поясните эффект элайзинга (наложения) во временной области.
10. Что такое линейная свертка?
11. Как влияет на спектральное разрешение дополнение временного ряда нулями?
12. Как используются окна на данные во временной и частотной областях?
13. Изменяет ли окно на данные оценку дисперсии сигнала и как бороться с этим эффектом?
14. Чем определяется предельное спектральное разрешение классических спектральных оценок?
15. При дискретизации сигнала его спектр повторяется с периодом, равным ...?
16. Поясните, что такое синусный и/или косинусный фильтр. Для каких целей и когда используют эти фильтры?
17. Поясните физический (или математический) смысл значения спектральной плотности мощности и на нулевой частоте.
18. Запишите обратное дискретное преобразование Фурье последовательности комплексного дискретного спектра $\{X_k\}$, $n = 0, \dots, N-1$ для получения дискретизированного сигнала $\{x_n\}$.
19. Что Вы можете сказать о дискретизированном сигнале $\{x_n\}$, $n = 0, \dots, N-1$ вне естественного окна измерений, когда он анализируется методами с использованием дискретного преобразования Фурье?

20. Как связаны между собой дискретные спектры сигналов $\{x_n\}$, $n=0, \dots, N-1$ и $\{y_n = x_{n-l}\}$, $n=0, \dots, N-1$, где l – дискретная постоянная задержка? Дискретный спектр сигнал $\{x_n\}$, $n=0, \dots, N-1$ обозначим X_k , а $\{y_n\}$, $n=0, \dots, N-1$ – Y_k .
21. Запишите, как связаны равенством Парсеваля между собой дискретизированные сигналы $\{x_n\}$, $\{y_n\}$, $n=0, \dots, N-1$ и их дискретные спектры X_k , Y_k .

Вариант 2

1. Что Вы можете сказать о статистических свойствах оценок спектральной плотности мощности периодограммным методом?
2. Для каких целей применяются спектральные окна?
3. Как влияет использование спектральных окон на спектральное разрешение (увеличивает или уменьшает)?
4. Поясните, из каких соображений должно выбираться то или иное спектральное окно.
5. Поясните причины возникновения эффекта утечки.
6. Для чего применяются окна на данные? Поясните правила их выбора.
7. Назовите преимущества и недостатки спектрального оценивания на основе алгоритма Кули-Тьюки.
8. Объясните, за счет чего появляется вычислительный выигрыш в алгоритме БПФ Кули-Тьюки?
9. Поясните эффект элайзинга (наложения) в частотной области.
10. Поясните эффект подмены частоты.
11. Как вычислить линейную свертку с помощью дискретного преобразования Фурье?
12. На что влияет дополнение временного ряда нулями?
13. Как изменяет окно на данные предельное спектральное разрешение (увеличивает или уменьшает)?
14. Дайте физическую интерпретацию классических периодограммных методов спектрального оценивания.
15. Временной ряд, дискретизированный с шагом Δt , состоит из N отчетов. Чем определяется предельное спектральное разрешение?
16. Поясните, почему корреляционную функцию эффективнее в вычислительном отношении оценивать с использованием дискретного преобразования Фурье?
17. Поясните, для чего до вычисления спектральной плотности мощности процесс центрируют?
18. Запишите прямое дискретное преобразование Фурье последовательности данных $\{x_n\}$, $n=0, \dots, N-1$ для получения комплексного дискретного спектра X_k .
19. Чему равен период дискретного спектра $\{X_k\}$, $n=0, \dots, N-1$?
20. Изложите свойства симметрии дискретного спектра $\{X_k\}$, $n=0, \dots, N-1$. Что Вы можете сказать о значениях X_0 , X_N , $X_{\frac{N}{2}}$?
21. Запишите, как связаны равенством Парсеваля между собой дискретизированный сигнал $\{x_n\}$, $n=0, \dots, N-1$ и его дискретный спектр X_k .

Комплект задач для практических занятий

по дисциплине Цифровые методы обработки случайных сигналов

Задача №1. Теорема о сдвиге.

Пусть заданы сигнал и его спектр $x(t) \leftrightarrow X(\omega)$. Сигнал задержали на величину τ , получили задержанный сигнал $x_1(t) = x(t - \tau)$. Найти спектр задержанного сигнала $X_1(\omega)$.

Т.е. показать $x(t - \tau) \leftrightarrow X(\omega)e^{-i\omega\tau}$.

Задача №2. Равенство Парсеваля.

Заданы два в общем случае комплексных сигнала и их спектры $x(t) \leftrightarrow X(\omega)$, $y(t) \leftrightarrow Y(\omega)$.

Доказать равенство Парсеваля

$$\int_{-\infty}^{\infty} x(t)y^*(t)dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)Y^*(\omega)d\omega \text{ и его частный случай}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |X(\omega)|^2 d\omega.$$

Задача №3. Теорема о свертке.

Выражение $y(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau - t)x(t)dt$ называется сверткой функций $h(t)$ и $x(t)$. Показать, что

$$y(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)x(\tau - t)dt, \text{ а также, что спектр свертки равен произведению спектров}$$

сворачиваемых функций $Y(\omega) = H(\omega)X(\omega)$, где $y(t) \leftrightarrow Y(\omega)$, $x(t) \leftrightarrow X(\omega)$, $h(t) \leftrightarrow H(\omega)$.

Задача №4. Спектр произведения функций.

Доказать, что спектр произведения функций $y(t) = h(t) \cdot x(t)$ равен свертке спектров

$$\text{сомножителей } Y(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega - \omega')X(\omega')d\omega', \text{ где } y(t) \leftrightarrow Y(\omega), x(t) \leftrightarrow X(\omega), h(t) \leftrightarrow H(\omega).$$

Задача №5. Прямоугольный импульс.

Вычислить спектр прямоугольного импульса

$$s(t) = \Pi_{\frac{T}{2}}(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) = \begin{cases} 1, & |t| \leq \frac{T}{2}, \\ 0, & |t| > \frac{T}{2}. \end{cases}$$

Нарисовать спектр прямоугольного импульса (амплитудный и фазовый спектр) и определить его характерные точки.

Задача №6. Меандровый импульс.

Вычислить спектр импульса

$$s(t) = -\text{rect}\left(\frac{t}{T}\right)\text{sign}(t).$$

Нарисовать спектр импульса (амплитудный и фазовый спектр) и определить его характерные точки.

Задача №7. Экспоненциальный импульс.

Вычислить спектр импульса

$$s(t) = e^{-\alpha t}, \alpha > 0, t \geq 0.$$

Нарисовать спектр импульса (амплитудный и фазовый спектр) и определить его характерные точки.

Задача №8. Отрезок гармонического сигнала.

Вычислить спектр импульса

$$s(t) = \begin{cases} a \cos(\omega_0 t + \varphi), & 0 \leq t \leq T; \\ 0, & t < 0 \text{ или } t > T. \end{cases}$$

Нарисовать амплитудный спектр импульса и определить его характерные точки.

Задача №9. Треугольная функция.

Вычислить спектр импульса

$$s(t) = 1 - 2 \frac{|t|}{T}, |t| \leq \frac{T}{2}.$$

Нарисовать спектр импульса (амплитудный и фазовый спектр) и определить его характерные точки.

Задача №10. Гармонический сигнал.

Вычислить спектр сигнала

$$s(t) = a \cos(\omega_0 t + \varphi).$$

Нарисовать амплитудный спектр сигнала и определить его характерные точки.

Задача №11. Импульсная функция.

Вычислить спектр функции

$$s(t) = \delta(t - t_0).$$

Нарисовать спектр сигнала и определить его характерные точки.

Задача №12. Пачка импульсов.

Вычислить спектр сигнала – пачка N прямоугольных импульсов

$$s(t) = \sum_{j=0}^N \text{rect}\left(\frac{t}{\tau} - jT\right). \text{ Здесь } \tau - \text{длительность каждого импульса, } T - \text{расстояние между}$$

импульсами.

Нарисовать спектр сигнала и определить его характерные точки.

Задача №13.

Доказать равенство $B(\tau) = B(-\tau)$, т.е. четность корреляционной функции.

Задача №14. Прямоугольный импульс.

Вычислить корреляционную функцию прямоугольного импульса

$$x(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right).$$

Нарисовать сигнал и его корреляционную функцию.

Задача №15. Меандровый импульс.

Вычислить корреляционную функцию импульса

$$x(t) = -\text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) \text{sign}(t).$$

Нарисовать сигнал и его корреляционную функцию.

Задача №16. Гармонический сигнал.

Вычислить корреляционную функцию сигнала

$$x(t) = a \cos(\omega_0 t + \varphi).$$

Нарисовать сигнал и его корреляционную функцию.

Задача №17. Гармонический сигнал.

Вычислить взаимную корреляционную функцию сигналов

$$x(t) = a_x \cos(\omega_0 t) \text{ и } y(t) = a_y \sin(\omega_0 t).$$

Нарисовать корреляционную функцию сигнала и определить ее характерные точки.

Задача №18. Сигнал $x(t) = \sin(2\pi 100t)$ дискретизирован с шагом $\Delta = \frac{1}{400}$ с. Что собой представляет дискретизированный сигнал x_n . Изобразить сигнал.

Задача №19. Последовательность $x_n = \cos(\pi n / 4)$, $-\infty < n < \infty$ получена в результате дискретизации непрерывного сигнала $x(t) = \cos(\Omega_0 t)$ с частотой 1000 Гц. Найдите два возможных положительных значения частоты Ω_0 , при которых это возможно.

Примечание: Задачу решить двумя способами: 1. формально на основе свойств функции $\cos$; 2. использовать периодичность спектра дискретизированного сигнала.

Задача №20. Непрерывный сигнал $x(t) = \cos(4000\pi t)$ дискретизируется с шагом Δ , в результате чего получается последовательность $x_n = \cos(\pi n / 3)$, $-\infty < n < \infty$. а)

Определить значение Δ , согласованное с условием задачи. б) Единственное ли такое Δ ? Если да, объясните свой ответ. В противном случае подберите другое подходящее значение.

Примечание: Задачу решить двумя способами: 1. формально на основе свойств функции $\cos$; 2. использовать периодичность спектра дискретизированного сигнала.

Задача №21. Дискретизация непрерывного сигнала $x(t) = \sin(20\pi t) + \cos(40\pi t)$ с шагом Δ дает последовательность $x_n = \sin(\frac{\pi}{5} n) + \cos(\frac{2\pi}{5} n)$

А) определить значение Δ , согласованное с условием задачи,

Б) Единственное ли значение Δ ? Если да, то обосновать. Иначе подобрать другое значение.

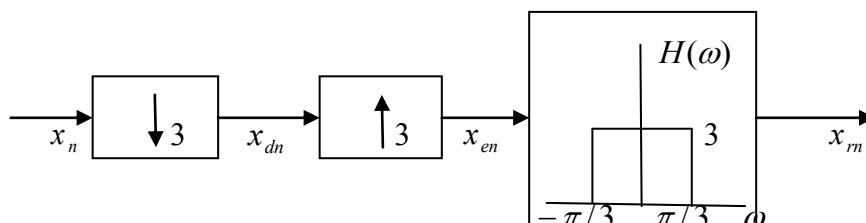
Задача №21. Рассмотрим систему с АЦП и фильтром нижних частот с частотой среза $\pi/8$ рад/с.

$x(t) \Rightarrow \text{АЦП} \rightarrow x_n \Rightarrow \text{ФНЧ}(\pi/8) \rightarrow y_n \Rightarrow \text{ЦАП} \rightarrow y(t) \Rightarrow$

А) пусть сигнал $x(t)$ ограничен по частоте значением 5 кГц. Каково максимальное значение Δ , при котором не происходит наложение спектров?

Б) Пусть $1/\Delta = 10$ кГц. Какой должна быть частота среза эффективного непрерывного фильтра?

Задача №22. Рассмотреть систему на рисунке



Выяснить, для каких из следующих сигналов x_n выполняется условие $x_n = x_m$:

а) $\cos(\pi n / 4)$; б) $\cos(\pi n / 2)$; в) $(\sin(\pi n / 8) / (\pi n))^2$.

Задача №23. Рассмотрим последовательность с периодом 10



-10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 n

Вычислить ее дискретный спектр и нарисовать дискретный амплитудный и фазовый спектры.

Примечание. Для суммирования конечной суммы ДПФ пользоваться формулой для суммирования геометрической последовательности.

Задача №24. Определить ДПФ каждой из перечисленных конечных последовательностей, считая, что все они имеют длину N , где N -четное.

а) $x_n = \delta_n = \begin{cases} 1, n=0 \\ 0, n \neq 0 \end{cases}$; б) $x_n = \delta_{n-n_0}, 0 \leq n_0 \leq N-1$; в) $x_n = \begin{cases} 1, n - \text{четное} \\ 0, n - \text{нечетное} \end{cases}$; г)

$x_n = \begin{cases} 1, 0 \leq n \leq \frac{N}{2} - 1 \\ 0, \frac{N}{2} \leq n \leq N - 1 \end{cases}$; д) $x_n = \begin{cases} a^n, 0 \leq n \leq N - 1 \\ 0, \text{иначе} \end{cases}$

Задача №25. Рассмотрим комплексную последовательность $x_n = \begin{cases} e^{i\omega_0 n}, 0 \leq n \leq N - 1 \\ 0, \text{иначе} \end{cases}$.

а) Найти Фурье-образ $X(\omega)$ последовательности x_n

$$X(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n e^{-i\omega n};$$

б) Вычислить N -точечное ДПФ конечной последовательности x_n ;

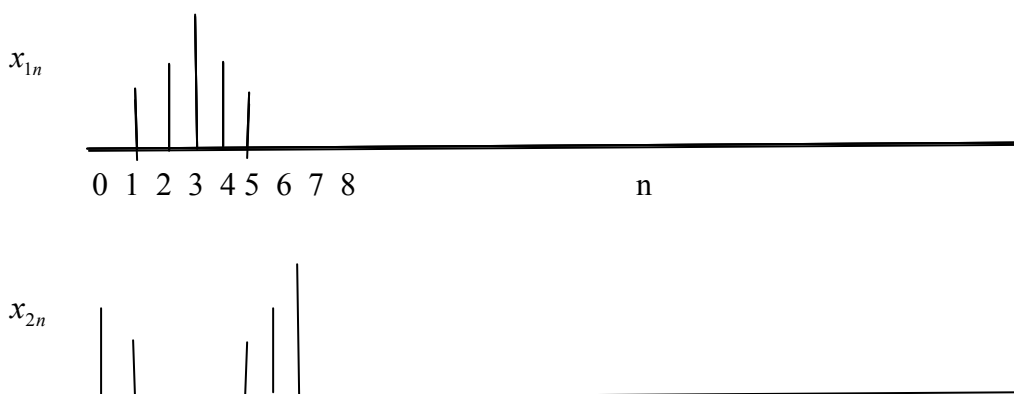
в) Определить ДПФ от x_n при $\omega_0 = \frac{2\pi}{N} k_0$, где k_0 - целое число.

Задача №26. Пусть $X(\omega)$ - Фурье образ 20-и точечной последовательности x_n , непрерывные отсчеты которой расположены на отрезке $[0, 19]$.

А) Разработать метод, которым можно найти значения $X(\omega)$ в точках $\omega = \frac{4\pi}{5}$, вычисляя одно M точечное дискретное преобразование Фурье с минимально возможным M .

Б) Разработать метод, которым можно найти значения $X(\omega)$ в точках $\omega = \frac{10\pi}{27}$, вычисляя одно L точечное дискретное преобразование Фурье с минимально возможным L .

Задача №27. ДПФ 8-и точечных последовательностей x_{1n} и x_{2n} , изображенных на рисунке, есть X_{1k} и X_{2k} . Найти выражение, связывающее X_{1k} и X_{2k} .

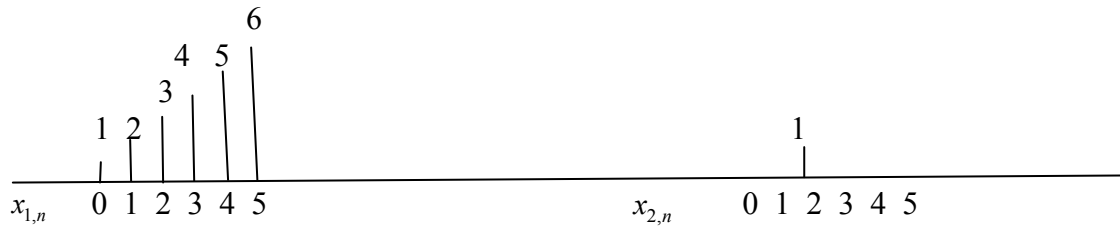


0 1 2 3 4 5 6 7 8

n

Задача №28. Изобразите 6-и точечную циклическую свертку последовательностей $x_{1,n}$ и $x_{2,n}$:

$C_m = \sum_{n=0}^{N-1} x_{1,n} x_{2,m-n}$. Оба сигнала периодичны с периодом 6. ($x_{1,n} = n+1$; $x_{2,n} = 1$ при $n=2$, остальные - 0)



Задача №29. Даны конечные последовательности

$$x_n = \cos\left(\frac{\pi n}{2}\right), n = 0, 1, 2, 3; \quad h_n = 2^n, 0 \leq n \leq 3.$$

- вычислить четырехточечное дискретное преобразование Фурье (ДПФ) X_k ;
- вычислить ДПФ H_k ;
- вычислить $y_n = x_n \otimes h_n$ - круговую свертку;
- найти y_n , применяя обратное ДПФ к произведению $X_k H_k$.

Задача №30. Разработать программу вычисления корреляционной функции.

$$B_x^{(1)}(m) = \frac{1}{N-m-1} \sum_{n=0}^{N-m-1} X_{n+m} X_n^*.$$

Вычислить:

А) корреляционную функцию прямоугольного импульса.

Б) корреляционную функцию меандрового импульса.

В) корреляционную функцию отрезка гармонического сигнала.

Нарисовать графики сигналов и корреляционных функций, используя консольную графику gnuplot.

Задача №31. Разработать программу вычисления спектра сигнала с использованием алгоритма БПФ.

Вычислить спектры нескольких последовательностей:

А) сигнал задачи №23,

Б) сигналы задачи №24.

Задача №32. Разработать программу вычисления корреляционной функции.

$$B_x^{(2)}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-m-1} X_{n+m} X_n^*$$

с использованием алгоритма БПФ

Вычислить:

А) корреляционную функцию прямоугольного импульса.

Б) корреляционную функцию меандрового импульса.

В) корреляционную функцию отрезка гармонического сигнала.
Нарисовать графики сигналов и корреляционных функций, используя консольную графику gnuplot.

Задача №33. Разработать программу вычисления взаимной корреляционной функции.

$$B_{xy}^{(2)}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-m-1} X_{n+m} Y_n^*$$

с использованием алгоритма БПФ

Вычислить:

- Сгенерировать действительный ЛЧМ-сигнал,
- Сгенерировать действительный задержанный ЛЧМ-сигнал,
- Вычислить взаимную корреляционную функцию прямого и задержанного ЛЧМ-сигналов.
- Нарисовать графики сигналов и корреляционных функций, используя консольную графику gnuplot.

В общем случае генерация действительного ЛЧМ-сигнала основана на простой формуле

$$x(t) = \cos(2\pi[f_0 + 0.5 \cdot \mu \cdot t] \cdot t).$$

Здесь f_0 - начальная частота, μ - скорость перестройки частоты, t - время. В результате, при длительности сигнала T , его полоса равна $\Delta F = \mu \cdot T$, а ширина корреляционной функции ЛЧМ-сигнала находится по формуле $\Delta t = \frac{1}{\Delta F}$.

Критерии оценки:

Для оценивания результатов контрольной работы возможно использовать следующие критерии оценивания: правильность ответа.

Оценка проводится по балльной системе. Правильный ответ на вопрос тестового задания равен 1 баллу. Общее количество баллов по тесту равняется количеству вопросов.

Общее количество вопросов принимается за 100%, оценка выставляется по значению соотношения правильных ответов к общему количеству вопросов в процентах.

Для пересчета оценки в традиционную систему используется таблица соответствия:

Границы в процентах	Традиционная оценка
85-100%	5 – Отлично или зачтено
71-84%	4 – Хорошо или зачтено
60-70%	3 – Удовлетворительно или зачтено
0-59%	2 – не удовлетворительно или не зачтено

Составитель _____  _____ Г.Г. Вертоградов
(подпись)

«2» _____ 03 _____ 2021 г.