

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

Образовательно-научный институт ядерной энергетики
и технической физики им. академика Ф.М. Митенкова (ИЯЭиТФ)

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института:

Легчанов М.А.

“19” марта 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В. Од.14 Цифровая обработка сигналов
для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
Направленность: Оптические системы и сети связи

Форма обучения: очная
Год начала подготовки: 2024, 2025
Выпускающая кафедра ФТОС
Кафедра-разработчик ФТОС
Объем дисциплины 108 часов/3 з.е.
Промежуточная аттестация: экзамен

Разработчик: Раевская Ю.В., к.т.н., доцент

Нижний Новгород

2025

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 19.09.2017 № 930 на основании учебных планов, принятых УМС НГТУ, протоколы от 21.05.2024 г. № 16 и 17.12.2024 г. № 6.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры протокол от 12 марта 2025 г. № 16.
Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор, Раевский А.С. _____

(подпись)

Программа рекомендована к утверждению советом ИЯЭиТФ, протокол от 19 марта 2025 г. № 1.

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 11.03.02-О-35.
Начальник МО _____

Заведующая отделом комплектования НТБ

Н.И. Кабанина

(подпись)

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ.....	3
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
1.1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
1.2. ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ).....	4
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....	4
3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ	7
4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ.....	9
5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	14
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	18
6.1. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, ПЕЧАТНЫЕ ИЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНОГО ФОНДА.....	18
6.2. СПРАВОЧНО-БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	18
6.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ.....	19
7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	19
7.1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	19
7.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ.....	20
8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ.....	20
9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....	20
10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	21
10.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	21
10.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА....	22
10.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ.....	22
10.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	22
11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	23
11.1. ТИПОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.....	23
11.2. ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	25

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Целью освоения дисциплины являются формирование необходимых компетенций для овладения базовыми алгоритмами дискретной и цифровой обработки сигналов, методами компьютерного моделирования физических процессов при передаче информации, специальной терминологией, используемой в отечественной и зарубежной литературе по цифровой обработке сигналов; для проведения математического анализа физических процессов в аналоговых и цифровых устройствах, на основе знания математических моделей сигналов и дискретных систем, методов цифровой фильтрации и спектрально-корреляционного анализа, принципов, алгоритмов и устройств цифровой обработки сигналов.

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):

- ознакомление с принципами и алгоритмами ЦОС;
- формирование представлений о методиках синтеза и автоматизированного проектирования элементов и систем ЦОС;
- обеспечение приобретения навыков применения полученных знаний к решению прикладных задач.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Цифровая обработка сигналов» включена в перечень дисциплин вариативной части (формируемой участниками образовательных отношений), определяющий направленность ОП. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Информатика», «Информатика (часть 2)», «Основы теории цепей».

Дисциплина «Цифровая обработка сигналов» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Вычислительная техника и информационные технологии», «Оптические цифровые телекоммуникационные системы».

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование элементов следующей профессиональной компетенции в соответствии с ОПОП ВО по направлению 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»:

ПКС-8 Способен осваивать и применять цифровые технологии для объектов профессиональной деятельности.

ПКС-13 Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, создавать компьютерные программы с использованием стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, так и разрабатываемых самостоятельно.

Формирование указанных компетенций размещено в таблице 1.

Таблица 1 – Формирование компетенций дисциплинами

Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования компетенций дисциплинами							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ПКС-8								
<i>Информатика</i>								
<i>Инженерная и компьютерная графика</i>								
Цифровая обработка сигналов								
<i>Вычислительная техника и информационные технологии</i>								
ПКС-13								
<i>Дифференциальные уравнения</i>								
<i>Информатика (часть 2)</i>								
Цифровая обработка сигналов								
<i>Специальные разделы физики (квантовая физика)</i>								
<i>Физические основы электроники</i>								
<i>Уравнения математической физики</i>								
<i>Электроника</i>								
<i>Вычислительная техника и информационные технологии</i>								
<i>Электромагнитные поля и волны</i>								
<i>Квазиоптика</i>								

3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения оп

Таблица 2 – Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
		Текущего контроля	Промежуточной аттестации			
ПКС-8.* Способен осваивать и применять цифровые технологии для объектов профессиональной деятельности	ИПКС-8.1. Осваивает цифровые технологии математического и информационного моделирования используемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной деятельности.	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - постановку проблем математического и информационного моделирования сложных систем в профессиональной области (ИПКС-8.1, 8.2). 	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - работать на современной электронно-вычислительной технике с объектами профессиональной деятельности (ИПКС-8.1). 	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами постановки задач и обработки результатов компьютерного моделирования в профессиональной деятельности. (ИПКС-8.1) 	Комплект индивидуальных заданий для выполнения на практических занятиях; Защита отчета	Вопросы для устного собеседования: билеты
	ИПКС-8.2. Применяет цифровые технологии в профессиональной деятельности.				Комплект индивидуальных заданий для выполнения на практических занятиях; Защита отчета	Вопросы для устного собеседования: билеты
ПКС-13. Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, создавать компьютерные программы с использованием как стандартных пакетов автома-	<i>Освоение дисциплины причастно к ТФ А/02.5 (ПС 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»), решает задачу внедрения результатов исследований и разработок в соответствии с установленными полномочиями</i>					
	ИПКС-13.1. Разрабатывает физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - математические модели дискретных сигналов, математические описания и характеристики дискретных систем, принципы, основные алгоритмы и устройства цифровой обра- 	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать модели дискретных сигналов, описания и характеристики дискретных систем, методы цифровой обработки сигналов при проектировании систем ЦОС (ИПКС-13.1). 	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - базовыми алгоритмами дискретной и цифровой обработки сигналов (ИПКС-13.1). 	Комплект индивидуальных заданий для выполнения на практических занятиях; Домашние задания	Вопросы для устного собеседования: билеты

тизированного проектирования и исследований, так и разрабатываемых самостоятельно		<p>ботки сигналов (ИПКС-13.1);</p> <ul style="list-style-type: none"> - типы и структурные схемы цифровых фильтров (ИПКС-13.1); - методы синтеза цифровых фильтров (ИПКС-13.1). 				
ИПКС-13.3. Использует стандартные пакеты автоматизированного проектирования		<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методы цифровой фильтрации и спектрально-корреляционного анализа сигналов (ИПКС-13.3). 	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать модели дискретных сигналов, описания и характеристики дискретных систем, методы цифровой обработки сигналов при компьютерном моделировании физических процессов (ИПКС-13.3). 	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами компьютерного моделирования в области цифровой фильтрации и спектрально-корреляционного анализа сигналов (ИПКС-13.3). 	Комплект индивидуальных заданий для выполнения на практических занятиях; Вопросы для устного собеседования (коллоквиум)	Вопросы для устного собеседования: билеты

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. 108 часов, распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час		
	Всего	В т.ч. по семестрам	
		4 сем	
Формат изучения дисциплины	очная		
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	108	108	
1. Контактная работа:	57	57	
1.1.Аудиторная работа, в том числе:	51	51	
занятия лекционного типа (Л)	17	17	
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практ. занятия и др)	34	34	
лабораторные работы (ЛР)			
1.2.Внеаудиторная, в том числе	6	6	
курсовая работа (КР) (консультация, защита)			
текущий контроль, консультации по дисциплине	6	6	
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)			
2. Самостоятельная работа (СРС)	24	24	
курсовая работа (КР) (подготовка)			
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям)	24	24	
Подготовка к экзамену (контроль)	27	27	

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4 – Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час						
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час							
4 СЕМЕСТР											
ПКС-8 ИПКС-8.1 ИПКС-8.2 ПКС-13 ИПКС-13.1 ИПКС-13.3	Раздел 1 Основы анализа сигналов							Конспект лекций в электронном виде			
	Тема 1.1. Введение в цифровую обработку сигналов. Дискретные сигналы. АЦП и ЦАП.	2,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.3.1], [6.3.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	Тема 1.2. Спектр дискретного сигнала. Теорема Котельникова. Квантование сигнала по уровню.	2,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.3], [6.3.1], [6.3.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	Практическое занятие 1. Спектр дискретного сигнала. Теорема Котельникова. Квантование сигнала по уровню.			2,0		Подготовка к ПЗ, выполнение домашнего задания [6.1.1], [6.1.3], [6.3.2]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».				
	Тема 1.3. Разностные уравнения линейных дискретных систем.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.3.1], [6.3.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг,				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
							компьютеров, цифровых проекторов и т.п.	
	Тема 1.4. Прямое и обратное Z-преобразование. Свойства Z-преобразования. Дискретное преобразование Фурье.	1,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.3.1], [6.3.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.	
	Практическое занятие 2. Z-преобразование. Дискретное преобразование Фурье.			4,0		Подготовка к ПЗ, выполнение домашнего задания [6.1.1], [6.1.3], [6.3.2]	Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».	
	Самостоятельная работа по освоению 1 раздела:				5,0			
	Итого по 1 разделу	6,0	--	6,0	5,0			
ПКС-8 ИПКС-8.1 ИПКС-8.2 ПКС-13 ИПКС-13.1 ИПКС-13.3	Раздел 2. Проектирование цифровых фильтров							Конспект лекций в электронном виде
	Тема 2.1. Классификация цифровых фильтров. Характеристики ЦФ.	2,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.3.1], [6.3.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.	
	Тема 2.2. Нуль-полюсное представление передаточной функции ЦФ. Устойчивость ЦФ.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.3.1], [6.3.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.	
	Тема 2.3. Структурные схемы	1,0			2,0	Подготовка к	Презентации с исполь-	

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час						
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час							
	нерекурсивных ЦФ.				лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.1.3], [6.3.1], [6.3.3]	зование различными вспомогательными средствами: доски, книги, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.					
	Тема 2.4. Структурные схемы рекурсивных ЦФ. Способы соединения блоков ЦФ.	2,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3], [6.3.1], [6.3.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книги, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.				
	Тема 2.5. Синтез рекурсивного фильтра по аналоговому прототипу. Метод билинейного преобразования. Метод инвариантной импульсной характеристики.				2,0						
	Практическое занятие 3. Синтез цифрового фильтра нижних частот.			4,0		Подготовка к ПЗ, защита отчета по индивидуальному заданию [6.1.1], [6.1.3], [6.3.2]	Дискуссия (обсуждение выполнения индивидуального задания); «мозговой штурм».				
	Практическое занятие 4. Синтез цифрового фильтра верхних частот.			4,0		Подготовка к ПЗ, защита отчета по индивидуальному заданию [6.1.1], [6.1.3], [6.3.2]	Дискуссия (обсуждение выполнения индивидуального задания); «мозговой штурм».				
	Практическое занятие 5. Синтез цифрового полосового			4,0		Подготовка к ПЗ, защита от-	Дискуссия (обсуждение выполнения индивиду-				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)	
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час				
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час					
	фильтра.					чета по индивидуальному заданию [6.1.1], [6.1.3], [6.3.2]	ального задания); «мозговой штурм».		
	Практическое занятие 6. Синтез цифрового режекторного фильтра.			4,0		Подготовка к ПЗ, защита отчета по индивидуальному заданию [6.1.1], [6.1.3], [6.3.2]	Дискуссия (обсуждение выполнения индивидуального задания); «мозговой штурм».		
	Тема 2.6. Синтез нерекурсивных фильтров методом весовых функций и методом частотной выборки. Численные методы синтеза ЦФ.				2,0				
	Практическое занятие 7. Синтез нерекурсивных фильтров методом весовых функций и методом частотной выборки. Численные методы синтеза ЦФ.			4,0		Подготовка к ПЗ [6.1.1], [6.1.3], [6.3.2]	Дискуссия (обсуждение выполнения индивидуального задания); «мозговой штурм».		
	Самостоятельная работа по освоению 2 раздела:				11,0				
	Итого по 2 разделу	6,0	--	20,0	11,0				
ПКС-8 ИПКС-8.1 ИПКС-8.2 ПКС-13 ИПКС-13.1 ИПКС-13.3	Раздел 3. Спектрально-корреляционный анализ сигналов							Конспект лекций в электронном виде	
	Тема 3.1. БПФ с прореживанием по времени. БПФ с прореживанием по частоте.				2,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.2.1], [6.2.2], [6.1.3] [6.3.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)	
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час				
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час					
	Практическое занятие 8. Алгоритмы БПФ.			4,0		Подготовка к ПЗ, выполнение домашнего задания [6.2.2], [6.1.3], [6.3.2]	Дискуссия, «мозговой штурм».		
	Тема 3.2. Дискретная фильтрация с помощью БПФ.	2,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.2.1], [6.2.2], [6.1.3] [6.3.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.		
	Тема 3.3. Анализаторы спектра сигналов на основе ДПФ.				2,0		Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.		
	Практическое занятие 8. Анализаторы спектра сигналов на основе ДПФ			4,0		Подготовка к ПЗ [6.2.2], [6.1.3], [6.3.2]	Дискуссия, «мозговой штурм».		
	Тема 3.4. Спектрально-корреляционный анализ дискретных случайных сигналов	3,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.1.2], [6.2.1], [6.2.2], [6.1.3] [6.3.3]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п.		
	Самостоятельная работа по освоению 3 раздела:				8,0				
	Итого по 3 разделу	5,0	--	8,0	8,0				
	ИТОГО по дисциплине	17	--	34	24				

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся используются комплекты индивидуальных заданий, домашних заданий, контрольных вопросов.

Также сформирован перечень вопросов и заданий, выносимых на промежуточную аттестацию в форме зачёта в 4 семестре.

Указанный комплект оценочных средств является неотъемлемой частью фонда оценочных средств и хранится на кафедре «Физика и техника оптической связи».

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) и оценка выполнения лабораторных работ приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) и оценка выполнения лабораторных работ

Шкала оценивания	Контрольная неделя	Зачет
$40 < R \leq 50$	Отлично	зачет
$30 < R \leq 40$	Хорошо	
$20 < R \leq 30$	Удовлетворительно	
$0 < R \leq 20$	Неудовлетворительно	

При промежуточном контроле успеваемость студентов оценивается по четырехбалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Таблица 6 – Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено» 0-59% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «зачтено» 60-74% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» / «зачтено» 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «зачтено» 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
ПКС-8.* Способен осваивать и применять цифровые технологии для объектов профессиональной деятельности	ИПКС-8.1. Осваивает цифровые технологии математического и информационного моделирования используемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной деятельности.	Не знает постановку проблем математического и информационного моделирования сложных систем в профессиональной области. Не умеет работать на современной электронно-вычислительной технике с объектами профессиональной деятельности	Слабо знает постановку проблем математического и информационного моделирования сложных систем в профессиональной области. Испытывает серьезные трудности при работе с современной электронно-вычислительной техникой с объектами профессиональной деятельности	Знает постановку проблем математического и информационного моделирования сложных систем в профессиональной области. Умеет работать на современной электронно-вычислительной технике с объектами профессиональной деятельности, иногда испытывает небольшие затруднения	Знает постановку проблем математического и информационного моделирования сложных систем в профессиональной области. Умеет работать на современной электронно-вычислительной технике с объектами профессиональной деятельности
	ИПКС-8.2. Применяет цифровые технологии в профессиональной деятельности.	Не знает постановку проблем математического и информационного моделирования сложных систем в профессиональной области. Не владеет методами постановки задач и обработки результатов компьютерного моделирования в профессиональной деятельности.	Слабо знает постановку проблем математического и информационного моделирования сложных систем в профессиональной области. Слабо владеет методами постановки задач и обработки результатов компьютерного моделирования в профессиональной деятельности.	Знает постановку проблем математического и информационного моделирования сложных систем в профессиональной области. Владеет методами постановки задач и обработки результатов компьютерного моделирования в профессиональной деятельности, иногда испытывает небольшие затруднения.	Знает постановку проблем математического и информационного моделирования сложных систем в профессиональной области. Владеет методами постановки задач и обработки результатов компьютерного моделирования в профессиональной деятельности.

Таблица 7 – Критерии оценивания

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку « отлично » заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку « хорошо » заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку « удовлетворительно » заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку « неудовлетворительно » заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда

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

6.1.1. Фрейман, В. И. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие / В. И. Фрейман. — Пермь : ПНИПУ, 2021. — 114 с. — ISBN 978-5-398-02542-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://reader.lanbook.com/book/239828> (дата обращения: 02.10.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6.1.2. Пасечников, И. И. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие / И. И. Пасечников. — Тамбов : ТГУ им. Г.Р.Державина, 2019. — 156 с. — ISBN 978-5-00078-261-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/137567> (дата обращения: 04.06.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6.1.3. Мальцева, Н. С. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие / Н. С. Мальцева. — Астрахань : АГТУ, 2021. — 92 с. — ISBN 978-5-89154-706-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/261188> (дата обращения: 02.10.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6.2. Справочно-библиографическая литература

6.2.1. Зельманов, С.С. Основы теории цифровой обработки сигналов : Учеб.пособие / С. С. Зельманов ; Волго-Вятский фил. МТУСИ. - Н.Новгород : [Б.и.], 2013. – 80 с.

6.2.2. Чан Танг, Т. Высокоскоростная цифровая обработка сигналов и проектирование аналоговых систем: Пер.с англ. / Чан Танг Т. - М. : Техносфера, 2013. - 192 с.

6.2.3. Гадзиковский, В. И. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие / В. И. Гадзиковский. — Москва : СОЛООН-Пресс, 2013. — 766 с. — ISBN 978-5-91359-117-3. —

Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/64979> (дата обращения: 04.06.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6.2.4. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учеб.пособие / А. Б. Сергиенко. - 3-е изд. - СПб. : БХВ-Петербург, 2011. - 768 с.

6.2.5. Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов: Пер.с англ. / А. Оппенгейм, Р. Шаффер. - 3-е изд.,испр. - М. : Техносфера, 2012 - 1048 с.

6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

Методические указания и рекомендации по проведению конкретных видов учебных занятий по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» находятся на кафедре «ФТОС».

6.3.1. Методические рекомендации по организации аудиторной работы по дисциплине «Цифровая обработка сигналов».

6.3.2. Методические рекомендации по организации и планированию практических занятия по дисциплине «Цифровая обработка сигналов».

6.3.3. Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы по дисциплине «Цифровая обработка сигналов».

7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. — Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>

2. Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.tolgas.ru/> - Загл. с экрана.

3. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.

4. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. - Загл. с экрана.

5. Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.

6. Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.

7. Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 8 – Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС
1	Консультант студента	http://www.studentlibrary.ru/
2	Лань	https://e.lanbook.com/
3	Юрайт	https://biblio-online.ru/

В таблице 9 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Таблица 9 – Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	2	3
1	База данных стандартов и регламентов РОС-СТАНДАРТ	https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	https://cyberpedia.su/21x47c0.html

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 10 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к лицам с ограниченными возможностями их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 10 – Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Для контактной и самостоятельной работы обучающихся выделены помещения, оснащённые компьютерной техникой с подключением к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации:

- зал электронно-информационных ресурсов (ауд. 2210 – 11 компьютеров, ауд. 6119 – 9 компьютеров);

- читальный зал открытого доступа (ауд. 6162 – 2 компьютера);
- ауд. 2303, 2202, оборудованные Wi-Fi.

Для проведения лекционных демонстраций имеется мультимедийный проектор.

Практические занятия проводятся в 1 корпусе в оснащённой необходимым оборудованием аудитории 1218 (компьютерный класс).

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная.

При преподавании дисциплины «Цифровая обработка сигналов», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Для студентов создан краткий опорный электронный вариант лекционного материала курса. Электронный конспект находится на кафедре «ФТОС» и может быть получен студентом в случае пропусков занятий по уважительным причинам или вынужденного перевода занятий в дистанционную форму.

На лекциях и практических занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на практических занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom.

Инициируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачёта с учетом текущей успеваемости.

Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий

Результат обучения считается несформированным, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

10.2. Методические указания для занятий лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям и выполнению заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.3. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях

Практические занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы. Основной формой проведения практических занятий является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, решение задач и выполнение индивидуальных практических заданий в компьютерном классе.

Практические занятия обучающихся обеспечивают:

- проверку и уточнение знаний, полученных на лекциях;
- получение умений и навыков решения задач;
- подведение итогов занятий по рейтинговой системе, согласно технологической карте дисциплины.

10.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в таблице 11). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном

виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре «ФТОС».

11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Для текущего контроля знаний студентов по дисциплине проводится **комплексная оценка знаний**, включающая

- опрос (коллоквиум) по теме практического занятия;
- защита отчетов по выполненным индивидуальным практическим заданиям;
- проверка выполнения домашних заданий.

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине: экзамен в 4 семестре.

11.1. Типовые вопросы для промежуточной аттестации

11.1.1. Контрольные вопросы для экзамена

ПКС-8: ИПКС-8.1, ИПКС-8.2

1. Определение ЦОС.
2. Определение цифрового сигнала.
3. Методы ЦОС.
4. Средства реализации ЦОС.
5. Историческое развитие ЦОС.

ПКС-13: ИПКС-13.1, 13.3

6. Математические определения дискретного сигнала.
7. Спектр дискретного сигнала.
8. Размножение спектров при дискретизации сигналов по времени.
9. Связь между спектрами аналогового и дискретного сигналов.
10. Наложение спектров при дискретизации сигналов. Маскирование частот при дискретизации.
11. Частота дискретизации аналоговых сигналов.
12. Квантование сигнала по уровню. Способы квантования. Погрешность квантования.
13. Цифровое кодирование сигнала. Погрешность квантования цифрового сигнала.
14. Разрядность АЦП.
15. Рекурсивные и нерекурсивные цифровые фильтры. Разностные уравнения.
16. Импульсная характеристика дискретной системы.
17. Дискретная временная свертка. БИХ- и КИХ-фильтры.
18. Z-преобразование дискретных сигналов. Свойства Z-преобразования.
19. Связь между Z-преобразованием и преобразованием Фурье.
20. Передаточная и частотная функции дискретных систем.
21. Связь между различными функциями и характеристиками дискретных систем.
22. Разностные уравнения.
23. Нули и полюсы передаточной функции. Нуль-полюсная форма передаточной функции рекурсивного фильтра.
24. Частотные характеристики рекурсивных фильтров.
25. Формы реализации РФ.
26. Прямая форма реализации биквадратного звена.
27. Каноническая форма реализации биквадратного звена.

28. Нерекурсивный фильтр на основе ДВС.
29. Каково условие линейности фазочастотной характеристики НФ?
30. Сравнение рекурсивных и нерекурсивных фильтров.
31. Метод весовых функций.
32. Описания и параметры весовых функций.
33. Метод частотной выборки.
34. Численные методы.
35. Цели и методы синтеза цифровых фильтров.
36. Метод синтеза рекурсивного фильтра по аналоговому прототипу.
37. Билинейное преобразование.
38. Синтез аналогового ФНЧ-прототипа и его задачи.
39. Переход от фильтра-прототипа к цифровому фильтру.
40. Выбор аппроксимирующей функции.
41. ДПФ и его свойства.
42. Вычисление ДВС с помощью ДПФ.
43. Цифровая фильтрация на основе ДПФ.
44. Обратное дискретное преобразование Фурье.
45. Цели и области применения цифрового спектрально-корреляционного анализа.
46. Структура, характеристики и основные параметры анализатора спектра на основе ДПФ.
47. Весовые функции, используемые в спектральном анализе. Параметры весовых функций.
48. Основные характеристики дискретных случайных сигналов.
49. Автокорреляционная и взаимная корреляционная функции.
50. Спектральная плотность мощности и взаимная спектральная плотность мощности.
51. Метод коррелограмм для вычисления СПМ и ВСПМ.
52. Метод периодограмм для вычисления СПМ и ВСПМ.
53. Применение БПФ для вычисления СПМ и ВСПМ.
54. Сравнение методов коррелограмм и периодограмм для вычисления оценок СПМ (ВСПМ).
55. Вычисление автокорреляционной и взаимной корреляционной функций с помощью БПФ.
56. БПФ с прореживанием по времени.
57. БПФ с прореживанием по частоте.
58. Оценка эффективности алгоритмов БПФ.
59. Вычисления с замещением в алгоритмах БПФ.
60. Совместное использование алгоритмов БПФ с прореживанием по времени и по частоте.

11.1.2. Контрольные задания для экзамена

ПКС-13: ИПКС-13.1, 13.3

1. Изобразить общую структуру системы ЦОС и пояснить назначение ее элементов.
2. Изобразить структуру последовательности операций аналого-цифрового преобразования сигналов.
3. Изобразить эквивалентную схему дискретизации сигнала по времени.
4. Гармоника $x(t) = \cos(\omega_0 t)$ дискретизируется с частотой отсчетов $\omega_s = 3\omega_0$. Изобразить спектр дискретного сигнала, определить, имеет ли место наложение спектров.

5. Постройте примерные графики амплитудных спектров дискретных сигналов, получаемых идеальной дискретизацией $x_s(t) = x(t)p(t)$, $p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$ аналогового сигнала $x(t) = e^{-\frac{1}{4}t} \cos t$, $t \geq 0$ с интервалом отсчетов $T = \frac{\pi}{4}$ сек.
6. Максимальное значение двоичного 10-разрядного аналого-цифрового преобразователя равно 10 В. Определить шаг квантования в абсолютных единицах и в процентах от предельного значения сигнала, а так же максимальное и среднеквадратичное значение погрешности квантования по уровню.
7. Пояснить графически, как осуществляется отображение точек с комплексной P -плоскости на Z -плоскость.
8. Определить Z -преобразования и Фурье-преобразования тестовых последовательностей дискретных систем.
9. Задано Z -преобразование вида $X(z) = (z + 1)/z$. Найти коэффициенты дискретного сигнала $\{x_k\}$, отвечающего этой функции.
10. Изобразить каскадную структуру цифрового фильтра.
11. Изобразить структурную схему биквадратного звена при прямой форме реализации.
12. Изобразить структурную схему биквадратного звена при канонической форме реализации.
13. Изобразить структурную схему нерекурсивного фильтра на основе ДВС.
14. Изобразить структурную схему нерекурсивного цифрового фильтра на основе ДПФ.
15. Изобразить структурную схему анализатора спектра на основе ДПФ.
16. Дискретный сигнал на интервале своей периодичности задан шестью равноотстоящими отсчетами $\{x_k\} = (1,1,1,0,0,0)$. Найти коэффициенты ДПФ этого сигнала.
17. Изобразить структурную схему анализатора спектральной плотности мощности (метод периодограмм).
18. Изобразить структурную схему анализатора взаимной спектральной плотности мощности (метод периодограмм).
19. Изобразить структурную схему вычислителя автокорреляционной функции на основе ДПФ.
20. Изобразить структурную схему взаимной корреляционной функции на основе ДПФ.
21. Изобразить сигнальный граф БПФ для первого этапа прореживания.
22. Изобразить полный график БПФ для $N = 8$.
23. Изобразить структуру нерекурсивного фильтра на основе БПФ с прореживанием по времени и по частоте.

11.2. Типовые задания для текущего контроля

11.2.1. Контрольные вопросы (коллоквиум, предваряет выполнение индивидуального практического задания)

1. Задачи, методы и цели синтеза ЦФ по заданной частотной характеристике.
2. Метод синтеза рекурсивного фильтра по аналоговому прототипу.
3. Взаимосвязь между частотами аналогового и цифрового фильтров при билинейном преобразовании.
4. Преимущества применения обобщенных преобразований при синтезе РФ заданного типа (ФВЧ, ППФ, ПЗФ).
5. Требования к аналоговому фильтру-прототипу при синтезе рекурсивных фильтров.
6. Условия выбора вида аппроксимирующей функции.

7. Как находятся нули, полюсы и коэффициенты рекурсивного фильтра?
8. АЧХ аналогового нормированного ФНЧ Баттервортса.
9. Напишите выражение для передаточной функции аналогового нормированного ФНЧ Баттервортса.
10. Напишите формулу для полюсов передаточной функции аналогового нормированного ФНЧ Баттервортса.
11. Определение порядка нормированного ФНЧ Баттервортса.
12. Как осуществляется денормирование частоты в аналоговой области?
13. В чем состоит операция дискретизации аналогового фильтра?
14. Перечислите основные требования, предъявляемые к отображению P -плоскости в Z -плоскость при дискретизации.
15. Опишите метод билинейного преобразования и объясните эффект деформации шкалы «цифровых» частот.
16. Опишите метод обобщенного билинейного преобразования.
17. АЧХ нормированных аналоговых ФНЧ Чебышева.
18. Выражения для передаточных функций аналоговых нормированных ФНЧ Чебышева.
19. Определение порядка нормированного ФНЧ Чебышева.
20. Расчет полюсов передаточной функции нормированного ФНЧ Чебышева 1 типа.
21. Расчет нулей и полюсов передаточной функции нормированного ФНЧ Чебышева 2 типа.
22. АЧХ аналогового нормированного эллиптического ФНЧ.
23. Передаточная функция нормированного эллиптического ФНЧ.
24. Определение порядка нормированного эллиптического ФНЧ.

11.2.2. Примеры домашних заданий

1. Гармоника $x(t) = \cos(\omega_0 t)$ дискретизируется с частотой отсчетов $\omega_s = 3\omega_0$. Изобразить спектр дискретного сигнала, определить, имеет ли место наложение спектров.
2. Постройте примерные графики амплитудных спектров дискретных сигналов, получаемых идеальной дискретизацией $x_s(t) = x(t)p(t)$, $p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$ аналогового сигнала $x(t) = e^{-\frac{1}{4}t} \cos t$, $t \geq 0$ с интервалом отсчетов $T = \frac{\pi}{4}$ сек.
3. Максимальное значение двоичного 10-разрядного аналого-цифрового преобразователя равно 10 В. Определить шаг квантования в абсолютных единицах и в процентах от предельного значения сигнала, а так же максимальное и среднеквадратичное значение погрешности квантования по уровню.
4. Задано Z -преобразование вида $X(z) = (z + 1)/z$. Найти коэффициенты дискретного сигнала $\{x_k\}$, отвечающего этой функции.
5. Пусть $x_1[n] = e^{an}$, $x_2[n] = e^{bn}$, $y[n] = Ax_1[n] + Bx_2[n]$. Определить $Y(z) = Z\{y[n]\}$.
6. Пусть $x[n] = e^{an}$, $y[n] = x[n - k]$. Определить $Y(z) = Z\{y[n]\}$.
7. Найти решетчатую функцию $x[n]$ по ее изображению $X(z) = \frac{ze^a}{(z - e^a)^2}$.
8. Пусть $x[n] = n^2$. Определите z -изображение $X(z) = Z\{x[n]\}$.

9. Исследовать устойчивость рекурсивного цифрового фильтра 2-го порядка с системной функцией $H(z) = a_0 / (1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-2})$.

10. Исследовать частотные характеристики нерекурсивного цифрового фильтра 2-го порядка, выполняющего усреднение текущего значения входного сигнала и двух предшествующих отсчетов по формуле $y_i = \frac{1}{3}(x_i + x_{i-1} + x_{i-2})$.

11. Рассмотреть синтез нерекурсивного цифрового фильтра, подобного динамической системе 1-го порядка (например, RC-цепи) с импульсной характеристикой вида

$$h(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ e^{-\frac{t}{\tau}}, & t > 0. \end{cases}$$

Рассмотреть случаи, когда импульсная характеристика аппроксимируется последовательностью из трех равноотстоящих отсчетов $\{h_k\} = \left(1, e^{-\frac{\Delta}{\tau}}, e^{-\frac{2\Delta}{\tau}}\right)$ и бесконечной дискретной

$$\text{последовательностью } \{h_k\} = \left(1, e^{-\frac{\Delta}{\tau}}, e^{-\frac{2\Delta}{\tau}}, \dots\right).$$

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института ИЯЭиТФ

Хробостов А.Е.

“___” 20___ г.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины
Б1.В. ОД.14 Цифровая обработка сигналов**

для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Направленность: Оптические системы и сети связи

Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 2021

Курс 4

Семестр 7

а) В рабочую программу не вносятся изменения. Программа актуализирована для 20___ г. начала подготовки.

б) В рабочую программу вносятся следующие изменения (указать на какой год начала подготовки):

1);

2);

3)

Разработчик (и): Раевская Ю.В., к.т.н., доцент

«___» 20___ г.

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ФТОС

_____ протокол № _____ от «___» 20___ г.

Заведующий кафедрой _____

Лист актуализации принят на хранение:

Заведующий выпускающей кафедрой ФТОС _____ «___» 20___ г.

Методический отдел УМУ: _____ «___» 20___ г.