

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета  
  
 \_\_\_\_\_ Знаменский Е.А.  
  
 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Направление/специальность подготовки	27.04.04 Управление в технических системах
Специализация/профиль/программа подготовки	Цифровая обработка сигналов в автономных системах управления
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	Е Оружие и системы вооружения
Выпускающая кафедра	Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ
Кафедра-разработчик рабочей программы	Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
5	9	5	180	85	34	0	51	95	0	18	77	ЭКЗ.
5	10	4	144	34	17	0	17	110	0	0	110	ЭКЗ.
ВСЕГО		9	324	119	51	0	68	205	0	18	187	

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**27.04.04 Управление в технических системах**

год набора группы: 2025

Программу составили:

Кафедра Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Борисов Сергей Викторович, к.т.н., доцент, доцент

Кафедра Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Михайлов Артемий Николаевич, к.т.н., преподаватель

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

Заведующий кафедрой Оськин И.А., д.т.н.

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

Заведующий кафедрой Оськин И.А., д.т.н.

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ**

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-4.1 — Способен разрабатывать и реализовывать комплексные математические модели автономных информационных и управляющих систем

ПК-4.4 — Способен разрабатывать комплексированные многофункциональные автономные информационные системы для управления движением малогабаритных летательных аппаратов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПК-4.1**

*знания:*

численных методов цифровой обработки сигналов при моделировании процессов, объектов и систем управления;;

*умения:*

разработка комплексных математических моделей автономных информационных и управляющих систем;;

*навыки:*

выполнения численного эксперимента на комплексных математических моделях автономных информационных и управляющих систем;.

### **ПК-4.4**

*знания:*

современные подходы к комплексированию многофункциональных автономных информационных систем;;

*умения:*

разрабатывать алгоритмы цифровой обработки информации для комплексированных многофункциональных автономных информационных систем для управления движением малогабаритных летательных аппаратов;;

*навыки:*

реализовывать модели комплексированных многофункциональных автономных информационных систем для управления движением малогабаритных летательных аппаратов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *27.04.04 Управление в технических системах*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания физико-математической подготовки бакалавра и служит основой для освоения дисциплин: **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ, МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ АВТОНОМНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ, СПУТНИКОВЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 з.е., 324 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПК-4.1	ПК-4.4
5	9	<b>Раздел 1. Введение в ЦОС.</b> Сравнение аналоговых и цифровых методов обработки сигналов. Преимущества и недостатки цифровой обработки сигналов. Области применения и возможности ЦОС.	7	2	2	0	5	2	2
5	9	<b>Раздел 2. Линейные дискретные системы.</b> Определение и свойства ЛДС. Математическое описание ЛДС. Нулевые начальные условия ЛДС. Физическая реализуемость ЛДС. Импульсная характеристика ЛДС. Формула свертки. Разностное уравнение. КИХ и БИХ ЛДС. Устойчивость ЛДС. Первый критерий устойчивости. Передаточная функция. Соотношения вход/выход в z-области. Рекурсивные звенья 1-го и 2-го порядков. Карта нулей и полюсов. Взаимосвязь передаточной функции и разностного уравнения. Разновидности представления передаточной функции рекурсивной ЛДС. Второй критерий устойчивости ЛДС. Частотная характеристика. АЧХ и ФЧХ. Соотношения вход/выход в частотной области. Основные свойства АЧХ и ФЧХ. Расчет АЧХ и ФЧХ. Экспресс-анализ АЧХ. Анализ рекурсивного звена 2-го порядка. Определение структуры. Структуры рекурсивной ЛДС. Прямая структура. Прямая каноническая структура. Каскадная структура. Параллельная структура. Прямая структура нерекурсивной ЛДС.	54	28	10	18	26	15	15
5	9	<b>Раздел 3. Преобразование сигналов в дискретных системах.</b> Общие сведения. Переход от обычного к дискретному преобразованию Фурье. Свойства ДПФ. Алгоритм вычисления ДПФ. Возможности применения алгоритма ДПФ для вычисления ОДПФ. Понятие о быстром преобразовании Фурье. Свойства алгоритма БПФ с основанием 2 и прореживанием по времени. Дискретная свертка и ее вычисление. Круговая свертка. Линейная свертка. Методы быстрого вычисления свертки. Спектральный анализ с применением БПФ. Некоторые характеристики спектрального анализа. Особенности спектрального анализа случайных процессов.	38	16	6	10	22	15	15
5	9	<b>Раздел 4. Методы синтеза цифровых фильтров.</b> Определение и классификация ЦФ. Основные этапы проектирования ЦФ. Задание требований к АЧХ. КИХ-фильтры с линейной ФЧХ. Четыре типа КИХ-фильтров с ЛФЧХ. Нерекурсивные ЦФ с линейной ФЧХ. Минимально-фазовые нерекурсивные фильтры. Основные этапы проектирования нерекурсивных фильтров. Формулировка задач аппроксимации, критерии. Методы решения задач аппроксимации. Основные принципы преобразования непрерывных фильтров в цифровые. Прямое Z - преобразование. Билинейное преобразование. Аппроксимация в процессе синтеза рекурсивного цифрового фильтра. Аналитические методы синтеза рекурсивных цифровых фильтров. Определение передаточной функции рекурсивного цифрового фильтра с помощью билинейного преобразования на ПЭВМ.	47	22	10	12	25	15	15
5	9	<b>Раздел 5. Методы спектрального анализа.</b> Метод периодограмм. Основные показатели качества оценок СПМ. Методы периодограмм Даньелла, Бартлетта, Уэлча и Блэкмана-Тьюки. Моделирование случайной последовательности с требуемой АКФ. Основные параметры окон. Спектрограмма. Метод Юла-Уолкера (автокорреляционный) оценки параметров АР-модели. Методы оценки параметров АР-модели. Методы оценки СПМ. Оценка порядка АР-модели. Сравнение оценок СПМ с истинной СПМ.	34	17	6	11	17	10	10
Всего за 9 семестр			180	85	34	51	95	57	57
5	10	<b>Раздел 6. Базовые алгоритмы цифровой обработки сигналов.</b> Базовый алгоритм цифровой когерентной обработки радиосигналов. Базовый алгоритм цифровой квадратурной обработки радиосигналов. Цифровой алгоритм оценки амплитуды узкополосного радиосигнала. Алгоритм оценки мгновенной фазы и частоты узкополосного радиосигнала. Свойства базовых алгоритмов. Обнаружение сигнала с известным уровнем шума. Обнаружение сигнала с оценкой уровня шума. Помехоустойчивость цифрового алгоритма обнаружения узкополосного сигнала. Помехоустойчивость алгоритма обнаружения сигнала с оценкой уровня шума. Обнаружение ФМ сигналов. Построение синхронных цифровых детекторов. Погрешность оценки амплитуды сигнала цифровым методом. Влияние шумов на оценку амплитуды сигнала. Построение фазовых цифровых детекторов. Погрешность оценки фазы сигнала цифровым методом. Влияние шумов на оценку фазы сигнала.	70	16	8	8	54	18	18
5	10	<b>Раздел 7. Применение методов цифровой обработки сигналов.</b> Цифровой формирователь сигнала DBPSK. Автокорреляционный демодулятор сигнала DBPSK. Когерентный демодулятор сигнала DBPSK. Принципы когерентной демодуляции. Когерентная демодуляция сигналов с АМ. Когерентная демодуляция сигналов с ФМ. Когерентная демодуляция сигналов с двоичной ОФМ. Когерентная демодуляция сигналов с КАМ. Помехоустойчивость когерентных демодуляторов. Фильтр Винера. Алгоритм LMS. Алгоритм RLS. Применение адаптивных фильтров. Идентификация систем. Оценка импульсной характеристики неизвестной системы. Очистка сигнала от шума. Выравнивание частотной характеристики неизвестной системы. Оценка параметров линейного предсказания сигнала. Вейвлет-преобразование, общие понятия, свойства. Непрерывное вейвлет-преобразование, его локализирующие свойства. Использование непрерывного вейвлет-преобразования для обнаружения изменения свойств сигналов. Дискретное вейвлет-преобразование и его применение для сжатия и шумоочистки сигналов. Заключение.	74	18	9	9	56	25	25
Всего за 10 семестр			144	34	17	17	110	43	43
Всего по дисциплине			324	119	51	68	205	100	100

### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Линейные дискретные системы.	Расчет характеристик ЛДС	4
2		Расчет нулей и полюсов ПФ и устойчивости ЛДС	4
3		Расчет АЧХ и ФЧХ ЛДС	4
4		Расчет структур ЛДС	6
5	Раздел 3. Преобразование сигналов в дискретных системах.	Расчет ДПФ	2
6		Расчет БПФ	4
7		Расчет спектра с использованием БПФ и определение его характеристик	4
8	Раздел 4. Методы синтеза цифровых фильтров.	Проектирование цифровых фильтров	4
9		Проектирование и расчет КИХ и БИХ фильтров	4
10		Методы расчета цифровых фильтров	4
11	Раздел 5. Методы спектрального анализа.	Расчет показателей качества оценок СПМ	4
12		Моделирование последовательностей с заданной АКФ	3
13		Расчет показателей качества оценок СПМ	4
Всего за 9 семестр			51
14	Раздел 6. Базовые алгоритмы цифровой обработки сигналов.	Моделирование базовых алгоритмов обработки	4
15		Моделирование цифровых детекторов амплитуды и фазы	4
16	Раздел 7. Применение методов цифровой обработки сигналов.	Расчет модулятора и демодулятора DBPSK	2
17		Расчет адаптивных фильтров	4
18		Применение вейвлет преобразования в ЦОС	3
Всего за 10 семестр			17

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение в ЦОС.	Проработка учебного материала по конспекту и рекомендованной литературе	5
2	Раздел 2. Линейные дискретные системы.	Изучение материала лекции 1, 2. Выполнение заданий практического занятия 1	6
3		Изучение материала лекции 3. Выполнение заданий практического занятия 2	6
4		Изучение материала лекции 4. Выполнение заданий практического занятия 3	6
5		Изучение материала лекции 5. Выполнение заданий практического занятия 4	8
6	Раздел 3. Преобразование сигналов в дискретных системах.	Изучение материала лекции 6. Выполнение заданий практического занятия 5	6
7		Изучение материала лекции 7. Выполнение заданий практического занятия 6	6
8		Изучение материала лекции 8. Выполнение заданий практического занятия 7	10
9	Раздел 4. Методы синтеза цифровых фильтров.	Изучение материала лекции 10, 11. Выполнение заданий практического занятия 8	8
10		Изучение материала лекции 12. Выполнение заданий практического занятия 9	8
11		Изучение материала лекции 13, 14. Выполнение заданий практического занятия 10	9
12	Раздел 5. Методы спектрального	Изучение материала лекции 15. Выполнение	6

	анализа.	заданий практического занятия 11	
13		Изучение материала лекции 16. Выполнение заданий практического занятия 12	6
14		Изучение материала лекции 17. Выполнение заданий практического занятия 13	5
Всего за 9 семестр			95
15	Раздел 6. Базовые алгоритмы цифровой обработки сигналов.	Изучение материала лекции 18, 19. Выполнение заданий практического занятия 14	20
16		Изучение материала лекции 20, 21. Выполнение заданий практического занятия 15	34
17	Раздел 7. Применение методов цифровой обработки сигналов.	Изучение материала лекции 22, 23. Выполнение заданий практического занятия 16	22
18		Изучение материала лекции 24. Выполнение заданий практического занятия 16	24
19		Изучение материала лекции 25. Выполнение заданий практического занятия 17	10
Всего за 10 семестр			110

### 3.4. Курсовая работа

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. 1.1. Дискретизировать заданный шифром сигнал и восстановить аналоговый сигнал, используя ряд Котельникова. При определении наивысшей частоты спектра сигнала использовать пороговый критерий (для $f > f_{\max}$ амплитуды спектральных составляющих не превышают уровня 0.1 от максимальной). 1.2. Рассчитать спектр дискретной последовательности, определенной в пункте 1.1. Построить график. 1.3 Найти Z-преобразования найденной в пункте 1.1 дискретной последовательности. 1.4 Определить дискретное преобразование Фурье (ДПФ) той же дискретной последовательности, Построить график. Восстановить аналоговый сигнал, используя тригонометрический ряд Фурье. 1.5 По результатам пункта 1.4 найти исходную дискретную последовательность. Построить график. 1.6 Произвести сравнение результатов вычислений: 1) сравнить форму спектра дискретизированной последовательности со спектром исходного аналогового сигнала; 2) установить связь между результатом Z-преобразования и спектральной плотностью дискретной последовательности, и между спектром исходного периодического аналогового сигнала и дискретными отсчетами его спектральной плотности	1 - 3	4
Этап 2. 2.1. Для заданной аналоговой линейной электрической цепи найти операторное выражение передаточной функции $K(p)$ и импульсную характеристику $g(t)$ . 2.2 Осуществить синтез цифровой цепи методом билинейного Z-преобразования по найденной в пункте 2.1 $K(p)$ . Построить схему алгоритма цифрового фильтра (ЦФ). 2.3 Произвести синтез ЦФ с помощью метода инвариантности импульсной характеристики (ИИХ) по найденной в пункте 2.1 $g(t)$ . Построить схему алгоритма ЦФ. 2.4 Найти отклик ЦФ в виде выходной дискретной последовательности на входную дискретную последовательность, полученную в пункте 1.1, на основе выполнения пунктов 2.2 или 2.3 с помощью обратного Z-преобразования (либо с помощью алгоритма свертки) по выбору студента. 2.5 Сделать выводы о сравнении методов синтеза по трудоемкости, сложности конечного результата, о физической достоверности полученной	4 - 5	6



формы отклика в реальных условиях прохождения дискретного сигнала через синтезированную цепь.		
Этап 3. 3.1. Методом билинейного Z-преобразования синтезировать цифровой фильтр различного назначения: фильтр нижних частот (ФНЧ), фильтр верхних частот (ФВЧ), полосовой фильтр (ПФ) или режекторный фильтр (РФ) с заданными граничными частотами полос пропускания и заграждения. При этом в зависимости от варианта в качестве аналогового фильтра необходимо использовать классический низкочастотный (НЧ-) прототип одного из двух типов: а) ФНЧ с максимально плоской амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) (фильтр Баттерворта), обеспечивающий затухание АЧХ в полосе пропускания не более $\alpha$ , дБ и затухание в полосе заграждения не менее $\beta$ дБ; б) ФНЧ с равноволновой амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) (фильтр Чебышева), обеспечивающий затухание АЧХ в полосе пропускания не более $\alpha$ , дБ и затухание вне полосы не менее $\beta$ дБ. 3.2 Рассчитать амплитудно-частотную и импульсную характеристики синтезированного цифрового фильтра. 3.3 Определить вид дискретного сигнала на выходе фильтра при воздействии на его вход последовательности отсчетов заданного входного сигнала $x(t)$ .	6 - 8	8
<b>Всего за 9 семестр</b>		18

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9	ТекК	ТекК	ТекК	ТекК, Тест	ТекК	ДР	ТекК	ТекК, Тест	ТекК	ДР	ТекК	ТекК, Тест	ТекК	ТекК	КП, ТекК	ДР	Вопр. Экз
10	ТекК	ТекК	ТекК	ТекК, Тест	ТекК	ДР	ТекК	ТекК, Тест	ТекК	ДР	ТекК	ТекК, Тест	ТекК	ТекК	ТекК	ДР	Вопр. Экз

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- Тест – тест;
- КП – курсовой проект;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- тест;
- курсовой проект;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. И. С. Гоноровский. . Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Советское радио, 1977, 35 экз.
2. М. Т. Иванов, А. Б. Сергиенко, В. Н. Ушаков. . Радиотехнические цепи и сигналы. Санкт-Петербург: Питер, 2021, эл. рес.
3. С. Н. Воробьев. . Цифровая обработка сигналов. М.: Академия, 2013, 28 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов. М.: Питер, 2006, 3 экз.

### 5.3. Периодические издания:

1. Информационно-измерительные и управляющие системы;
2. Проблемы машиностроения и автоматизации;
3. Радиотехника – XXI век.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

не требуется.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Проектор;
2. Интерактивная доска;
3. Анализатор спектра С4-77;
4. Легкоразборные образцы изделий.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 27.04.04 *Управление в технических системах*. Дисциплина реализуется на факультете *Е* Оружие и системы вооружения БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой **Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПК-4.1 Способен разрабатывать и реализовывать комплексные математические модели автономных информационных и управляющих систем;

ПК-4.4 Способен разрабатывать комплексированные многофункциональные автономные информационные системы для управления движением малогабаритных летательных аппаратов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением методов и программных средств проектирования и моделирования устройств цифровой обработки сигналов в составе автономных информационных и управляющих систем военного и гражданского назначения.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- тест;
- курсовой проект;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **9 з.е., 324 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**51 ч.**), практические занятия (**68 ч.**), самостоятельная работа студента (**205 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 324 ч., из них 119 ч. аудиторных занятий, и 205 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Введение в ЦОС.		
Проработка учебного материала по конспекту и рекомендованной литературе	С. Н. Воробьев. . Цифровая обработка сигналов: М.: Академия, 2013 (1) А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (2,3,4)	5
Итого по разделу 1		5
Раздел 2. Линейные дискретные системы.		
Изучение материала лекции 1, 2. Выполнение заданий практического занятия 1	А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (2,6) И. С. Гоноровский. . Радиотехнические цепи и сигналы: М.: Советское радио, 1977 (5,6)	6
Изучение материала лекции 3. Выполнение заданий практического занятия 2		6
Изучение материала лекции 4. Выполнение заданий практического занятия 3		6
Изучение материала лекции 5. Выполнение заданий практического занятия 4		8
Итого по разделу 2		26
Раздел 3. Преобразование сигналов в дискретных системах.		
Изучение материала лекции 6. Выполнение заданий практического занятия 5	А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (5)	6
Изучение материала лекции 7. Выполнение заданий практического занятия 6		6
Изучение материала лекции 8. Выполнение заданий практического занятия 7		10
Итого по разделу 3		22
Раздел 4. Методы синтеза цифровых фильтров.		
Изучение материала лекции 10, 11. Выполнение заданий практического занятия 8	А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (6)	8
Изучение материала лекции 12. Выполнение заданий практического занятия 9		8
Изучение материала лекции 13, 14.		9

Выполнение заданий практического занятия 10		
Итого по разделу 4		25
Раздел 5. Методы спектрального анализа.		
Изучение материала лекции 15. Выполнение заданий практического занятия 11	А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (5)	6
Изучение материала лекции 16. Выполнение заданий практического занятия 12		6
Изучение материала лекции 17. Выполнение заданий практического занятия 13		5
Итого по разделу 5		17
Раздел 6. Базовые алгоритмы цифровой обработки сигналов.		
Изучение материала лекции 18, 19. Выполнение заданий практического занятия 14	А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (5)	20
Изучение материала лекции 20, 21. Выполнение заданий практического занятия 15		34
Итого по разделу 6		54
Раздел 7. Применение методов цифровой обработки сигналов.		
Изучение материала лекции 22, 23. Выполнение заданий практического занятия 16	М. Т. Иванов, А. Б. Сергиенко, В. Н. Ушаков. . Радиотехнические цепи и сигналы: Санкт-Петербург: Питер, 2021 (5) А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (8-9)	22
Изучение материала лекции 24. Выполнение заданий практического занятия 16		24
Изучение материала лекции 25. Выполнение заданий практического занятия 17		10
Итого по разделу 7		56

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы для текущего контроля;
- тест;
- курсовой проект;
- вопросы к экзамену;
- экзамен;
- экзамен.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Вопросы для текущего контроля

Семестр 9, раздел 1. Введение в ЦОС

1. Опишите основные свойства периодических сигналов.
2. Изобразите графики нескольких первых базисных функций ряда Фурье.
3. Поясните особенности разложения нечетных и четных функций в ряд Фурье.
4. Запишите формулы, связывающие коэффициенты тригонометрического и ком-плексного рядов Фурье.
5. Как отразится изменение положения отсчета времени  $t = 0$  периодического сигнала на значениях  $A_n$  и  $\varphi_n$  ряда Фурье?
6. Как изменится спектр периодического сигнала, если изменить масштаб по оси времени?
7. Как изменится спектр последовательности прямоугольных импульсов, если уменьшить длительность  $\tau$  и период  $T$  импульсов в два раза?
8. Почему разрывные функции не могут иметь точного приближения рядами Фурье?
9. В чем состоит эффект Гиббса?

Семестр 9, раздел 2. Линейные дискретные системы

1. При каких условиях возможно точное восстановление аналогового сигнала по по-следовательности его отсчётов?
2. Как выбирается шаг дискретизации согласно теореме отсчётов?
3. В чём заключается явление подмены частот?
4. Почему противоподменная фильтрация приводит к уменьшению среднеквадрати-ческой ошибки восстановления? Как определить наименьшее значение этой ошибки?
5. Как на практике можно реализовать восстановление аналогового сигнала по отсчё-там?
6. Что не позволяет точно восстановить аналоговый сигнал по последовательности его отсчётов?
7. Можно ли реализовать идеальный интерполирующий фильтр?
8. Для чего на практике частоту дискретизации выбирают значительно выше удвоен-ной частоты Найквиста? 1. Зачем вводится пространство последовательностей? Какие операции необходимо задать на множестве последовательностей, чтобы оно стало линейным пространством?
9. Какие пространства называются гильбертовыми?
10. Что такое скалярное произведение? Что означает ортогональность последова-тельностей?
11. Что такое норма? В чём её физический смысл? Что такое метрика?
12. Что такое базис? Сколько различных базисов можно задать в пространстве по-следовательностей?
13. Что такое ортонормальный базис? В чём состоят преимущества ортонормального базиса?
14. Сколько различных ортонормальных базисов можно задать в пространстве по-следовательностей?
15. Всегда ли периодична синусоидальная последовательность? Сформулируйте условие периодичности.
16. В чём состоит содержание шагов процедуры Грама–Шмидта?
17. Что такое равенство Парсеваля, в чём его смысл?
18. В чём заключается смысл обобщённой формулы Рэлея?

19. Какие искажения называются линейными?
20. Что такое частотные искажения?
21. Что такое фазовые искажения?
22. Какими должны быть АЧХ и ФЧХ фильтра, чтобы сигнал проходил через него неискажённым?
23. Какими должны быть АЧХ и ФЧХ цепи, предназначенной для задержки сигнала без искажения его формы? Как связаны параметры такой цепи с величиной задержки?
24. Какие искажения называются нелинейными? Могут ли нелинейные искажения возникнуть в линейной цепи?
25. Можно ли реализовать ЛИС-цепь с линейно растущей ФЧХ?
26. Можно ли реализовать ЛИС-цепь с тождественно нулевой ФЧХ?
27. Как связан вид имп импульсной характеристики П-образного ФНЧ с его граничной частотой?

#### Семестр 9, раздел 3. Преобразование сигналов в дискретных системах

1. Как осуществляется дискретизация непрерывного сигнала по времени?
2. Покажите, что отсчетные функции  $\phi(nT)$  ортогональны на интервале времени  $(-\infty, \infty)$ .
3. Как изменяются отсчетные функции  $\phi(nT)$  при уменьшении (увеличении) периода дискретизации?
4. Как выглядит спектральная характеристика отсчетной функции?
5. Что понимают под числом степеней свободы сигнала  $x(t)$ ?
6. Какие методы, кроме ряда Котельникова, используются для восстановления сигнала по его отсчетам в дискретные моменты времени?
7. Дан гармонический сигнал  $x(t) = 10 \cdot \sin(0,5 \cdot t)$ . Осуществлена дискретизация сигнала с периодом  $T = 0,05$  с. Запишите  $x(n)$ .
8. На вход дискретного интегратора, описываемого уравнением  $y(n) = y(n-1) + T \cdot x(n-1)$ , подано воздействие  $x(n) = \delta(n)$ . Найдите  $y(n)$ , если  $y(0) = 0$  и  $T = 0,5$  с.
9. На вход дискретного дифференциатора, описываемого уравнением  $y(n) = 1/T [x(n) - x(n-1)]$ , подано ступенчатое воздействие  $x(n) = 1(n)$ . Найдите  $y(n)$ , если  $T = 0,25$  с.
10. Нарисуйте структурную схему дискретного интегратора, реализующего интегрирование по методу прямоугольников (трапеций).
11. Запишите разностное уравнение дискретного интегратора, реализующего интегрирование по методу прямоугольников, если на вход интегратора подан сигнал  $x(t) = 2t$  и  $T = 0,2$  с.
12. Запишите разностное уравнение дискретного интегратора, реализующего интегрирование по методу трапеций, если на вход интегратора подан сигнал  $x(t) = 1(t)$  и  $T = 0,5$  с.
13. В каких случаях рекомендуется использовать процедуру сглаживания экспериментальных данных?
14. Почему при сглаживании скользящим усреднением увеличение  $L$  приводит к искажению полезной составляющей?
15. Как изменится АЧХ алгоритма скользящего усреднения при увеличении  $L$ ?
16. Поясните геометрически идею сглаживания четвертыми разностями.
17. В чем заключается аппроксимация по методу наименьших квадратов?
18. Покажите, что уравнения фильтра, полученные через обратную и прямую разности четвертого порядка, эквивалентны.
19. Найдите статический коэффициент передачи фильтра, реализующего сглаживание четвертыми разностями.

#### Семестр 9, раздел 4. Методы синтеза цифровых фильтров

1. Как связаны передаточная функция и КЧХ ЛИС-цепи?
2. Как связаны КЧХ и импульсная характеристика?
3. При каких условиях импульсная характеристика фильтра является вещественной?
4. При каком виде КЧХ импульсная характеристика имеет конечную длину?
5. Что такое нули и полюсы?
6. Как влияют нули и полюсы на АЧХ цепи?
7. Влияет ли расположение нулей на устойчивость фильтра?
8. Какие ограничения накладывает на нуль-полюсную диаграмму требование因果ности?
9. Почему полюсы должны находиться внутри 1-окружности?
10. Что такое фильтр-пробка?
11. Какой фильтр называется гребенчатым?
12. Влияет ли нуль в точке  $z = 0$  на вид АЧХ? На ФЧХ?
13. Влияет ли полюс в точке  $z = 0$  на вид АЧХ? На ФЧХ?
14. Какие цепи называются всепропускающими?
15. Почему всепропускающие цепи называют фазовыми фильтрами?
16. Как обеспечить всепропускающий характер цепи?
17. Что такое минимально-фазовая цепь, почему она так называется?
18. Можно ли минимально-фазовую цепь преобразовать в другую цепь, не изменяя при этом формы



АЧХ? Как при этом изменится ФЧХ?

19. Можно ли неминимально-фазовую цепь преобразовать в минимально-фазовую с такой же формой АЧХ?

20. Что такое явление Гиббса? В чём его причина? В чём смысл применения «окон»?

21. В чём заключается разница между методами синтеза КИХ- и

БИХ-фильтров с точки зрения теории аппроксимации?

22. Можно ли при постановке задачи синтеза фильтра потребовать нулевой ширины переходной полосы?

23. Можно ли реализовать дискретный фильтр со строго линейной ФЧХ? Каковы особенности разностного уравнения и структурной схемы такого фильтра?

24. Зачем нужны цепи с линейной фазовой характеристикой?

25. Всегда ли нужно стремиться к возможно более крутому спаду АЧХ? Когда крутой спад АЧХ нежелателен?

26. В чём заключается метод построения фильтров на основе частотной выборки?

27. В каких случаях целесообразно применение фильтров на основе частотной выборки?

28. Почему методы аналого-цифровой трансформации применяют для синтеза БИХ-, а не КИХ-фильтров?

29. Дайте понятие цифрового фильтра.

30. Чем отличается деление цифровых фильтров по признакам «нерекурсивный и рекурсивный» и «конечная и бесконечная импульсные характеристики»?

33. Какие методы используются для преобразования передаточной функции аналогового фильтра-прототипа в передаточную функцию цифрового фильтра?

34. Каким условиям должна удовлетворять процедура преобразования передаточной функции аналогового прототипа в передаточную функцию цифрового фильтра?

35. Поясните основной недостаток билинейного преобразования.

36. Объясните смысл операции денормирования передаточной функции ФНЧ.

37. Объясните смысл операции трансформации передаточной функции ФНЧ.

38. Как отличаются АЧХ фильтров Баттерворта и Чебышева в полосе пропускания?

39. Чем обусловлены ограничения на нижний и верхний пределы изменения периода дискретизации Т цифрового фильтра?

40. Объясните причину периодичности частотных характеристик цифрового фильтра.

Семестр 9, раздел 5. Методы спектрального анализа

1. В чём заключаются достоинства и недостатки БИХ-фильтров перед КИХ-фильтрами?

2. Что такое фильтр-прототип?

3. Чем различаются фильтры-прототипы?

4. Какова особенность фильтра Бесселя?

5. Зачем применяют частотные преобразования? Какие это преобразования?

6. Зачем применяется билинейное преобразование?

7. Почему при построении цифрового БИХ-фильтра не используется прямая подстановка?

8. Чем обусловлено искажение частотной оси при билинейном преобразовании? Насколько вредно такое искажение?

9. В чём заключается преимущество метода билинейного преобразования перед методом инвариантности импульсной характеристики?

10. Что представляет собой исчерпывающее описание произвольной случайной последовательности?

11. Что такое стационарная случайная последовательность?

12. Как связаны понятия стационарности в широком и узком смысле?

13. Как связаны автокорреляционная последовательность и спектральная плотность мощности стационарной случайной последовательности?

14. Как связаны ширина спектра СП и интервал корреляции?

15. Какие процессы называются эргодическими?

16. Какая нормировка ДПФ соответствует унитарному преобразованию?

17. Как найти СПМ случайной последовательности на выходе ЛИС-цепи, когда на входе стационарная последовательность с известной автокорреляционной последовательностью?

18. Назовите непараметрические и параметрические методы спектрального оценивания.

19. Зачем применяется сглаживание периодограмм?

20. Зачем применяется усечение коррелограмм?

21. В каких случаях применяют параметрические методы оценивания?

22. Что понимают под реализацией случайного процесса?

23. Какой случайный процесс называется стационарным?

24. В чём состоит суть эргодического свойства?

25. Выразите свое отношение к следующим утверждениям: а) любой стационарный случайный процесс обладает эргодическим свойством; б) случайный процесс, обладающий эргодическим свойством,

является стационарным.

26. Поясните физический смысл понятий математического ожидания и дисперсии стационарного случайного процесса.
27. Как связаны между собой среднее квадратическое отклонение и дисперсия случайного процесса?
28. Какое свойство стационарного случайного процесса характеризует корреляционная функция?
29. Какая связь существует между дисперсией и корреляционной функцией стационарного случайного процесса?
30. Дайте физическое понятие спектральной плотности мощности.
31. Докажите, что  $S_x(-\omega) = S_x(\omega)$ .
32. Как выглядит график спектральной плотности «белого шума»?
33. Объясните физический смысл спектральной плотности «белого шума».
34. Чем объясняется просачивание энергии при использовании прямоугольного окна?

Семестр 10, раздел 1. Базовые алгоритмы цифровой обработки сигналов

1. Дискретная свертка и ее вычисление.
2. Круговая свертка. Линейная свертка.
3. Методы быстрого вычисления свертки.
4. Спектральный анализ с применением БПФ. некоторые характеристики спектрального анализа. Особенности спектрального анализа случайных процессов.
5. Двумерная обработка сигналов. Понятие о двумерной цифровой обработке сигналов.
6. Двумерные цифровые системы и сигналы.
7. Двумерные разностные уравнения.
8. Двумерное Z-преобразование.
9. Двумерное ДПФ.
10. Двумерные БИХ и КИХ фильтры.
11. Цифровые методы детектирования сигналов.
12. Построение синхронных цифровых детекторов.
13. Погрешность оценки амплитуды сигнала цифровым методом.
14. Влияние шумов на оценку амплитуды сигнала.

Семестр 10, раздел 2. Применение методов цифровой обработки сигналов

1. Построение фазовых цифровых детекторов.
2. Погрешность оценки фазы сигнала цифровым методом.
3. Влияние шумов на оценку фазы сигнала.
4. Перенос спектра сигнала. Инверсия спектра сигнала.
5. Восходящие и нисходящие дискретные системы.
6. Экспандер и компрессор частоты дискретизации.
7. Сущность гомоморфной обработки сигналов.
8. Влияние АЦП и ЦАП на качество звуковых сигналов.
9. Обработка цифровых звуковых сигналов.
10. Цифровая запись звуковых сигналов.
11. Реализация согласованного фильтра.
12. Пример системы цифровой обработки сигналов радиолокатора.
13. Цифровая обработка сигналов в системах СДЦ.
14. Радиолокатор с синтезированной апертурой.

Студентам предлагается устно ответить на 3 вопроса из соответствующего раздела перечня. Результаты ответов оцениваются по пятибальной шкале и учитываются при итоговой аттестации в конце семестра

### **Тест**

Студентам предлагается пройти тест из 15 вопросов. Тест считается пройденным успешно, если студент правильно ответил на 6 и более вопросов.

### **Курсовой проект**

Темы курсового проекта по выбору студентов:

1. Синтез цифрового фильтра
2. Синтез устройства цифровой обработки радиосигналов

При оформлении курсовой работы (КР) следует придерживаться следующих правил:

1. На титульном листе КР необходимо привести название учебного заведения, кафедры, учебной дисциплины, группы, фамилию, инициалы имени и отчества, номер зачетной книжки.
2. Содержание работы излагать последовательно в соответствии с методикой разработки систем, описывая их функции, приводя расчетные задания, необходимые схемы и таблицы.

3. Графики полученных зависимостей следует приводить с указанием масштабов и размерностей по осям координат, а семейства непосредственно взаимосвязанных графиков приводить в виде рисунков.

Защита курсовой работы подразделяется на предварительную и основную и проводится соответственно в 14 и 15 недели семестра.

Защита курсовой работы является второй частью процесса курсового проектирования. Процедура защиты курсовой работы начинается с доклада, продолжительность которого не должна превышать 15 минут (оптимальный диапазон 8–12 минут). Защита может проводиться разными способами:

- 1) индивидуальная защита (самая распространенная, один на один с преподавателем);
- 2) публичная защита (допускается присутствие однокурсников, или группы преподавателей, или заинтересованных лиц);
- 3) групповая защита, когда один проект состоит из нескольких курсовых работ нескольких обучающихся.

Доклад для защиты, или защитная речь, должен включать в себя несколько частей:

тема работы – ее нужно назвать в начале защиты; актуальность темы – обязательно нужно знать, чем выбранная тема поможет науке и обществу; цель курсовой работы – это то, что студент желал получить, выполняя курсовую работу; решаемые задачи курсовой работы – задач может быть несколько и они позволяют добиться целей курсовой работы; объект исследования – то устройство или процесс, который подвергался изучению и анализу; предмет исследования – это те вопросы, которые изучаются в курсовой работе; теоретическая часть – в которой необходимо привести основные теоретические положения; практическая часть – что и как исследовалось в курсовой работе, какие результаты получены, какие выявлены недостатки или пробелы, общая характеристика предложенных решений, их эффективность; общий вывод по проделанной работе – повторить цель работы и определить, достигнута ли цель работы полностью.

Оценка курсовой работы складывается из нескольких составляющих и включает оценку содержания работы, соответствия требованиям по оформлению работы, выдерживанию регламента доклада, правильности ответов на вопросы.

### **Вопросы к экзамену**

Семестр 9, раздел 5

1. Сравнение аналоговых и цифровых методов обработки сигналов.
2. Преимущества и недостатки цифровой обработки сигналов. Области применения и возможности ЦОС.
3. Дискретизация непрерывных сигналов.
4. Аналитическое описание дискретизированных сигналов.
5. Спектры дискретизированных сигналов.
6. Z-преобразование дискретизированных сигналов.
7. Преобразование Лапласа дискретизированного сигнала.
8. Представление дискретизированных сигналов в комплексной плоскости.
9. Соотношение между плоскостью P и плоскостью Z.
10. Z-преобразование.
11. Общие соотношения между сигналами и положениями полюсов.
12. Обратное Z-преобразование.
13. Свойства Z-преобразования.
14. Составные элементы дискретных систем. Уравнение дискретной системы.
15. Разностные уравнения и передаточные функции.
16. Рекурсивные и нерекурсивные цифровые фильтры.
17. Полюсы и нули передаточных функций.
18. Устойчивость цифровых фильтров. Частотная характеристика и ее связь с передаточной функцией и импульсной характеристикой.
19. Переход от передаточной функции к структуре фильтра.
20. Каноническая и неканоническая формы реализации цифровых фильтров.
21. Последовательная, параллельная, биквадратная, каскадная формы реализации ЦФ.
22. Нерекурсивные ЦФ с линейной ФЧХ.
23. Минимально-фазовые нерекурсивные фильтры.
24. Основные этапы проектирования нерекурсивных фильтров.
25. Формулировка задач аппроксимации, критерии. Методы решения задач аппроксимации.
26. Основные принципы преобразования непрерывных фильтров в цифровые.
27. Прямое Z-преобразование.
28. Билинейное преобразование.

29. Аппроксимация в процессе синтеза рекурсивного цифрового фильтра.
30. Аналитические методы синтеза рекурсивных цифровых фильтров.
31. Определение передаточной функции рекурсивного цифрового фильтра с помощью билинейного преобразования на ПЭВМ.
32. Ошибки, связанные с конечной разрядностью АУ ЦФ.
33. Ошибки округления и усечения коэффициентов передаточных функций ЦФ.
34. Оценки шумов квантования выходного сигнала в ЦФ.
35. Оценка диапазона изменения сигнала в ЦФ.
36. Переход от обычного к дискретному преобразованию Фурье.
37. Свойства ДПФ. Алгоритм вычисления ДПФ.
38. Возможности применения алгоритма ДПФ для вычисления ОДПФ.
39. Понятие о быстром преобразовании Фурье. Свойства алгоритма БПФ с основанием 2 и прореживанием по времени.
40. Дискретная свертка и ее вычисление.
41. Круговая свертка. Линейная свертка.
42. Методы быстрого вычисления свертки.
43. Спектральный анализ с применением БПФ. Характеристики спектрального анализа. Особенности спектрального анализа случайных процессов.

#### Семестр 10, раздел 2

1. Двумерная обработка сигналов. Понятие о двумерной цифровой обработке сигналов.
2. Двумерные цифровые системы и сигналы.
3. Двумерные разностные уравнения.
4. Двумерное Z-преобразование.
5. Двумерное ДПФ.
6. Двумерные БИХ и КИХ фильтры.
7. Цифровые методы детектирования сигналов.
8. Построение синхронных цифровых детекторов.
9. Погрешность оценки амплитуды сигнала цифровым методом.
10. Влияние шумов на оценку амплитуды сигнала.
11. Построение фазовых цифровых детекторов.
12. Погрешность оценки фазы сигнала цифровым методом.
13. Влияние шумов на оценку фазы сигнала.
14. Перенос спектра сигнала. Инверсия спектра сигнала.
15. Восходящие и нисходящие дискретные системы.
16. Экспандер и компрессор частоты дискретизации.
17. Сущность гомоморфной обработки сигналов.
18. Влияние АЦП и ЦАП на качество звуковых сигналов.
19. Обработка цифровых звуковых сигналов.
20. Цифровая запись звуковых сигналов.
21. Реализация согласованного фильтра.
65. Пример системы цифровой обработки сигналов радиолокатора.
66. Цифровая обработка сигналов в системах СДЦ.

#### Экзамен

На экзамене студенту предлагается 2 вопроса. При развернутом ответе на два вопроса студент получает "отлично", при неполном ответе на два вопроса - "хорошо", при полном ответе на один вопрос - "удовлетворительно".

#### Экзамен

На экзамене студенту предлагается 2 вопроса. При развернутом ответе на два вопроса студент получает "отлично", при неполном ответе на два вопроса - "хорошо", при полном ответе на один вопрос - "удовлетворительно".

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПК-4.1	ПК-4.4	
5	9	Раздел 1. Введение в ЦОС.	7	2	2	0	5	2	2	Вопросы для текущего контроля
5	9	Раздел 2. Линейные дискретные системы.	54	28	10	18	26	15	15	Вопросы для текущего контроля, Тест
5	9	Раздел 3. Преобразование сигналов в дискретных системах.	38	16	6	10	22	15	15	Вопросы для текущего контроля, Тест
5	9	Раздел 4. Методы синтеза цифровых фильтров.	47	22	10	12	25	15	15	Вопросы для текущего контроля, Тест
5	9	Раздел 5. Методы спектрального анализа.	34	17	6	11	17	10	10	Вопросы для текущего контроля, Курсовой проект, Вопросы к экзамену
Всего за 9 семестр			180	85	34	51	95	57	57	
5	10	Раздел 6. Базовые алгоритмы цифровой обработки сигналов.	70	16	8	8	54	18	18	Вопросы для текущего контроля, Тест, Вопросы к экзамену
5	10	Раздел 7. Применение методов цифровой обработки сигналов.	74	18	9	9	56	25	25	Вопросы для текущего контроля, Вопросы к экзамену
Всего за 10 семестр			144	34	17	17	110	43	43	
Всего по дисциплине			324	119	51	68	205	100	100	



**ПК-4.1 - Способен разрабатывать и реализовывать комплексные математические модели автономных информационных и управляющих систем**

- № 1 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Метод инвариантного преобразования импульсной характеристики основан на знании
- № 2 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Какие условия являются необходимыми для безыскажённой передачи сигнала?
1. Постоянство АЧХ фильтра в пределах заданной полосы частот.
  2. Антисимметрия коэффициентов ПФ ЦФ.
  3. Конечность импульсной характеристики ЦФ (КИХ ЦФ).
  4. Линейная зависимость ФЧХ фильтра в пределах заданной полосы частот.
- № 3 Прочитайте текст и установите соответствие
1. Нуль передаточной функции (ПФ)
  2. Квантование
  3. Полюс ПФ
- А. Значение  $z$ , при котором ПФ достигает минимального значения
- Б. Значение  $z$ , при котором числитель ПФ принимает нулевое значение
- В. Значение  $z$ , при котором знаменатель ПФ принимает нулевое значение
- Г. Преобразование аналоговых отсчетов сигнала в цифровые
- Д. Значение  $z$ , при котором ПФ достигает максимального значения
- Е. Округление значений аналоговых отсчетов сигнала
- № 4 Прочитайте текст и установите последовательность  
Установите правильную последовательность этапов методики синтеза КИХ-фильтров на основе окон:
1. Вычисление импульсной характеристики фильтра.
  2. Расчет импульсной характеристики с учетом взвешивания оконной функцией.
  3. Выбор окна и длины фильтра (его порядка).
  4. Проверка выполнения заданных требований
  5. Задание требований к фильтру.
- № 5 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
аким преимуществом не обладает каноническая структура линейной дискретной системы по сравнению с прямой формой.
1. Упрощает схему за счёт уменьшения числа элементов задержки.
  2. Упрощает схему за счет уменьшения числа элементов умножения на константу.
  3. Уменьшает шумы квантования.
  4. Упрощает схему за счет уменьшения (упрощения) элементов суммирования.



- № 6 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Квантование по уровню – это процесс:
- № 7 Прочитайте текст и установите последовательность  
Установите последовательность выполнения этапов цифровой обработки сигналов.
1. Воспроизведение сигнала на конечном устройстве
  2. Преобразование дискретного сигнала в цифровой сигнал (квантование).
  3. Формирование результирующего сигнала из цифрового.
  4. Формирование дискретного сигнала из аналогового.
- № 8 Прочитайте текст и установите соответствие  
установите соответствие определений:
1. Амплитудно-частотная характеристика
  2. Импульсная характеристика
  3. Переходная характеристика
- А. Отклик системы на дельта функцию при нулевых начальных условиях
- Б. Частотная зависимость амплитуды реакции к амплитуде дискретного гармонического воздействия в установившемся режиме
- В. Частотная зависимость комплексной амплитуды реакции к комплексной амплитуде дискретного гармонического воздействия в установившемся режиме
- Г. Выходная реакция на функцию Бесселя при нулевых начальных условиях
- Д. Реакция на цифровой единичный скачок при нулевых начальных условиях
- Е. Выходная реакция на единичный импульс при ненулевых начальных условиях
- № 9 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
На каких типах операций с отсчетами сигнала основан алгоритм вычисления реакции по разностным уравнениям?
1. Задержка сигнала на период дискретизации.
  2. Свертка.
  3. Умножение на константу.
  4. Алгебраическое сложение.
- № 10 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Что является причиной происхождения собственных шумов цифрового фильтра?
- № 11 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Какими преимуществами не обладает метод билинейного z-преобразования по сравнению с методом стандартного z-преобразования при синтезе БИХ-фильтров?
1. Пригодность для синтеза фильтров с линейной фазо-частотной характеристикой.
  2. Пригодность для синтеза фильтров с произвольной частотной характеристикой (корректирующих фильтров).
  3. Повышенная точность воспроизведения ИХ во всем частотном диапазоне.
  4. Не требуется увеличение частоты дискретизации для уменьшения ошибок наложения и поэтому пригоден для избирательных фильтров с крутыми фронтами.
- № 12 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор



ответа

Сущность метода билинейного  $z$ -преобразования заключается в преобразовании

**ПК-4.4 - Способен разрабатывать комплексированные многофункциональные автономные информационные системы для управления движением малогабаритных летательных аппаратов**

№ 1 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие условия являются необходимыми для безыскажённой передачи сигнала?

1. Постоянство АЧХ фильтра в пределах заданной полосы частот.
2. Симметрия коэффициентов передаточной функции (ПФ) ЦФ  $B_k = B_{m-k}$ ,  $m$  - порядок фильтра.
3. Линейная зависимость ФЧХ фильтра в пределах заданной полосы частот.
4. Конечность импульсной характеристики ЦФ (КИХ ЦФ).

№ 2 Прочитайте текст и установите соответствие

1. Нуль передаточной функции (ПФ)

2. Дискретизация

3. Квантование

А. Взятие мгновенных значений сигнала с заданным периодом

Б. Значение  $z$ , при котором ПФ достигает минимального значения

В. Значение  $z$ , при котором числитель ПФ принимает нулевое значение

Г. Значение  $z$ , при котором знаменатель ПФ принимает нулевое значение

Д. Преобразование аналоговых отсчетов сигнала в цифровые

Е. Прореживание отсчетов по времени

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие определений:

1. Импульсная характеристика

2. Амплитудно-частотная характеристика

3. Фазочастотная характеристика

А. Частотная зависимость фазы реакции к фазе дискретного гармонического воздействия в установившемся режиме

Б. Отклик системы на дельта функцию при нулевых начальных условиях

В. Выходная реакция на функцию Бесселя при нулевых начальных условиях

Г. Частотная зависимость амплитуды реакции к амплитуде дискретного гармонического воздействия в установившемся режиме

Д. Частотная зависимость разности фаз реакции и дискретного гармонического воздействия в установившемся режиме

Е. Частотная зависимость комплексной амплитуды реакции к комплексной амплитуде дискретного гармонического воздействия в установившемся режиме

№ 4 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие условия являются необходимыми для безыскажённой передачи сигнала?

1. Постоянство АЧХ фильтра в пределах заданной полосы частот.

2. Симметрия коэффициентов передаточной функции (ПФ) ЦФ  $V_k = V_{m-k}$ ,  $m$  - порядок фильтра.
  3. Линейная зависимость ФЧХ фильтра в пределах заданной полосы частот.
  4. Конечность импульсной характеристики ЦФ (КИХ ЦФ).
- № 5 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Каким преимуществом не обладает каноническая структура линейной дискретной системы по сравнению с прямой формой.
1. Упрощает схему за счет уменьшения (упрощения) элементов суммирования.
  2. Упрощает схему за счет уменьшения числа элементов умножения на константу.
  3. Упрощает схему за счёт уменьшения числа элементов задержки.
  4. Уменьшает шумы квантования.
- № 6 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Линейная дискретная система (ЛДС) требует проверки на устойчивость, если:
1. Импульсная характеристика ЛДС имеет характер затухающей функции времени.
  2. ЛДС имеет нулевые начальные условия.
  3. ЛДС является рекурсивной.
  4. Во всех случаях проверка на устойчивость не требуется.
- № 7 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
- Какими преимуществами не обладает метод билинейного  $z$ -преобразования по сравнению с методом стандартного  $z$ -преобразования при синтезе БИХ-фильтров?
1. Пригодность для синтеза фильтров с произвольной частотной характеристикой (корректирующих фильтров).
  2. Пригодность для синтеза фильтров с линейной фазо-частотной характеристикой.
  3. Не требуется увеличение частоты дискретизации для уменьшения ошибок наложения и поэтому пригоден для избирательных фильтров с крутыми фронтами.
  4. Повышенная точность воспроизведения ИХ во всем частотном диапазоне.
- № 8 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
- Какие качества присущи чебышевской мере близости в задачах аппроксимации частотной характеристики цифрового фильтра?
- № 9 Прочитайте текст и установите последовательность
- Установите последовательность выполнения этапов цифровой обработки сигналов.
1. Формирование дискретного сигнала из аналогового.
  2. Формирование результирующего сигнала из цифрового.
  3. Воспроизведение сигнала на конечном устройстве
  4. Преобразование дискретного сигнала в цифровой сигнал (квантование).
- № 10 Прочитайте текст и установите последовательность
- Установите последовательность выполнения этапов оптимального синтеза цифрового фильтра.
1. Формулировка задачи, выполняемой фильтром (ФНЧ, ФВЧ, РФ, ПФ) и оценка возможности ее решения.
  2. Выбор критерия близости (качества).
  3. Математическое описание оптимизируемой (целевой) функции.

4. Установление ограничений, определяющих условие решения задачи и их математическое описание.

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Частотной характеристикой  $H(\exp(j\omega))$  называется:

1. Частотная зависимость отношения амплитуды реакции к амплитуде дискретного гармонического воздействия в установившемся режиме.
2. Частотная зависимость отношения реакции к дискретному гармоническому воздействию в установившемся режиме.
3. Частотный спектр реакции при произвольном входном воздействии.
4. Частотная зависимость разности фаз реакции и дискретного гармонического воздействия в установившемся режиме.

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Импульсная характеристика это

1. Реакция на единичный импульс при ненулевых начальных условиях.
2. Отклик системы на дельта-функцию при нулевых начальных условиях.
3. Выходная реакция на функцию Бесселя первого порядка.
4. Реакция на цифровой единичный скачок при нулевых начальных условиях.

№ 13 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Переходная характеристика это

1. Реакция на цифровой единичный скачок при нулевых начальных условиях.
2. Реакция на единичный импульс при ненулевых начальных условиях.
3. Выходная реакция на функцию Бесселя первого порядка.
4. Отклик системы на дельта-функцию при нулевых начальных условиях.