

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_  
(подпись) **Суслин А. В.**  
**ФИО**  
«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 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	68	34	0	34	112	0	0	112	ЭКЗ.

*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: 2024

Программу составил:

Кафедра Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

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

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

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

Заведующий кафедрой Егоренков Л.С., к.т.н., снс

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

Заведующий кафедрой Егоренков Л.С., к.т.н., снс

# **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:

ПСК-4.1 — способность разрабатывать и реализовывать комплексные математические модели автономных информационных и управляющих систем
--

ПСК-4.4 — способность разрабатывать комплексированные многофункциональные автономные информационные системы для управления движением малогабаритных летательных аппаратов
---

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-4.1**

знания:

численные методы моделирования 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.

### **ПСК-4.4**

знания:

современные подходы к комплексированию многофункциональных автономные информационные системы;

умения:

азрабатывать комплексированные многофункциональные автономные информационные системы 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: **ОПТИЧЕСКАЯ И КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ, ТЕОРИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ, МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ АВТОНОМНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ**

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 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		ПСК-4.1	ПСК-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.	11	4	2	2	7	6	6
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.	40	16	8	8	24	22	22
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.	22	8	4	4	14	12	12
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.	33	12	6	6	21	18	18
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.	22	8	4	4	14	12	12
5	9	<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.	22	8	4	4	14	12	12
5	9	<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 локализующие свойства. Использование непрерывного вейвлет-преобразования для обнаружения изменения свойств сигналов. Дискретное вейвлет-преобразование и его применение для сжатия и шумоочистки сигналов. Заключение.	30	12	6	6	18	18	18
Всего за 9 семестр			180	68	34	34	112	100	100
Всего по дисциплине			180	68	34	34	112	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Введение в ЦОС.	Моделирование числовых последовательностей и расчет их характеристик	2
2	Раздел 2. Линейные дискретные системы.	Расчет характеристик ЛДС	2
3		Расчет нулей и полюсов ПФ и устойчивости ЛДС	2
4		Расчет АЧХ и ФЧХ ЛДС	2
5		Расчет структур ЛДС	2
6	Раздел 3. Преобразование сигналов в дискретных системах.	Расчет дискретного преобразования Фурье	2
7		Расчет быстрого преобразования Фурье	2
8	Раздел 4. Методы синтеза цифровых фильтров.	Методика синтеза ЦФ	2
9		Расчет КИХ фильтров	2
10		Расчет БИХ фильтров	2
11	Раздел 5. Методы спектрального анализа.	Непараметрические методы расчета СПМ	2
12		Параметрические методы расчета СПМ	2
13	Раздел 6. Базовые алгоритмы цифровой обработки сигналов.	Расчет показателей качества базовых алгоритмов ЦОС	2
14		Расчет показателей качества цифровых детекторов	2
15	Раздел 7. Применение методов цифровой обработки сигналов.	Расчет показателей качества формирователей и демодуляторов цифровых сигналов	2
16		Анализ методов и свойств адаптивной фильтрации цифровых сигналов	2
17		Аанлиз методов и свойств вейвлет-преобразований цифровых сигналов	2
Всего за 9 семестр			34

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение в ЦОС.	Изучение материала раздела 1, выполнение заданий практического занятия 1	7
2	Раздел 2. Линейные дискретные системы.	Изучение материала раздела 2, выполнение заданий практического занятия 2, 3, 4, 5	24
3	Раздел 3. Преобразование сигналов в дискретных системах.	Изучение материала раздела 3, выполнение заданий практических занятий 6, 7	14
4	Раздел 4. Методы синтеза цифровых фильтров.	Изучение материала раздела 4, выполнение заданий практических занятий 8, 9, 10	21
5	Раздел 5. Методы спектрального анализа.	Изучение материала раздела 5, выполнение заданий практических занятий 11, 12	14
6	Раздел 6. Базовые алгоритмы цифровой обработки сигналов.	Изучение материала раздела 6, выполнение заданий практических занятий 13, 14	14
7	Раздел 7. Применение методов цифровой обработки сигналов.	Изучение материала раздела 7, выполнение заданий практических занятий 15, 16, 17	18
<b>Всего за 9 семестр</b>			<b>112</b>

## 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
<b>9</b>	ВРЗД	ВРЗД	ВРЗД	ВРЗД	ВРЗД	ДР	ВРЗД	ВРЗД	ВРЗД	ДР	ВРЗД	ВРЗД	ВРЗД	ВРЗД	ВРЗД, Вопр. Экз	ДР	ВРЗД, Вопр. Экз

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;

- ВРЗД – вопросы по разделу;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену.

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

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.



## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. О. С. Вадутов. . Электроника. Математические основы обработки сигналов. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
2. 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. Авиакосмическое приборостроение;
2. Вестник воздушно-космической обороны.

### 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:

1. PROView 32; Matlab 2015a SP1;
2. PTC Mathcad Prime 5.0.

### 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. PROView 32; Matlab 2015a SP1;
2. PTC Mathcad Prime 5.0.

### **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*:

ПСК-4.1 способность разрабатывать и реализовывать комплексные математические модели автономных информационных и управляющих систем;

ПСК-4.4 способность 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 по разделу;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 5 з.е., **180 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**112 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 180 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 112 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.
<b>Раздел 1. Введение в ЦОС.</b>		
Изучение материала раздела 1, выполнение заданий практического занятия 1	А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (1) О. С. Вадутов. . Электроника. Математические основы обработки сигналов: Москва: Юрайт, 2020 (1)	7
Итого по разделу 1		7
<b>Раздел 2. Линейные дискретные системы.</b>		
Изучение материала раздела 2, выполнение заданий практического занятия 2, 3, 4, 5	О. С. Вадутов. . Электроника. Математические основы обработки сигналов: Москва: Юрайт, 2020 (5) А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (4)	24
Итого по разделу 2		24
<b>Раздел 3. Преобразование сигналов в дискретных системах.</b>		
Изучение материала раздела 3, выполнение заданий практических занятий 6, 7	А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (4) О. С. Вадутов. . Электроника. Математические основы обработки сигналов: Москва: Юрайт, 2020 (8)	14
Итого по разделу 3		14
<b>Раздел 4. Методы синтеза цифровых фильтров.</b>		
Изучение материала раздела 4, выполнение заданий практических занятий 8, 9, 10	А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (5) О. С. Вадутов. . Электроника. Математические основы обработки сигналов: Москва: Юрайт, 2020 (9, 10)	21
Итого по разделу 4		21
<b>Раздел 5. Методы спектрального анализа.</b>		
Изучение материала раздела 5, выполнение заданий практических занятий 11, 12	А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (5) О. С. Вадутов. . Электроника. Математические основы обработки сигналов: Москва: Юрайт, 2020 (12)	14
Итого по разделу 5		14
<b>Раздел 6. Базовые алгоритмы цифровой обработки сигналов.</b>		
Изучение материала раздела 6, выполнение заданий практических занятий 13, 14	С. Н. Воробьев. . Цифровая обработка сигналов: М.: Академия, 2013 (3) А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (4)	14

Итого по разделу 6		14
<b>Раздел 7. Применение методов цифровой обработки сигналов.</b>		
Изучение материала раздела 7, выполнение заданий практических занятий 15, 16, 17	А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (4) О. С. Вадутов. . Электроника. Математические основы обработки сигналов: Москва: Юрайт, 2020 (9)	18
Итого по разделу 7		18

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы по разделу;
- вопросы к экзамену;
- 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 по разделу

раздел 1.

Сравнение аналоговых и цифровых методов обработки сигналов. Преимущества и недостатки цифровой обработки сигналов. Области применения и возможности ЦОС.

раздел 2.

Определение и свойства ЛДС. Математическое описание ЛДС. Импульсная характеристика ЛДС.

Формула свертки.

Разностное уравнение. КИХ и БИХ ЛДС. Устойчивость ЛДС. 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. Анализ рекурсивного звена 2-го порядка. Прямая структура ЛДС. Прямая каноническая структура ЛДС. Каскадная структура ЛДС. Параллельная структура ЛДС. Прямая структура нерекурсивной ЛДС

раздел 3.

Общие сведения о ДПФ. 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

раздел 4.

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.

раздел 5.

Методы непараметрического спектрального анализа. Метод периодограмм. Основные показатели

качества оценок СПМ. Моделирование случайной последовательности с требуемой АКФ. Основные

параметры окон. Спектрограмма. Методы параметрического спектрального анализа. 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.

раздел 6.

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. 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

раздел 7.

Цифровой формирователь сигнала DBPSK. Автокорреляционный демодулятор сигнала DBPSK. Когерентный демодулятор сигнала DBPSK. Принципы когерентной демодуляции. Когерентная демодуляция сигналов с двоичной ОФМ. Когерентная демодуляция сигналов с КАМ. Помехоустойчивость когерентных демодуляторов. Некогерентные демодуляторы двоичного сигнала с ОФМ. Некогерентный демодулятор четырехпозиционного сигнала с ОФМ. Фильтр Винера. Алгоритм LMS. Алгоритм RLS. Идентификация систем. 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.

### **Вопросы к экзамену**

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.
11. Общие соотношения между сигналами и положениями полюсов.
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.
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.
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. некоторые характеристики спектрального анализа. Особенности спектрального анализа случайных процессов.
44. Двумерная обработка сигналов. Понятие о двумерной цифровой обработке сигналов.
45. Двумерные цифровые системы и сигналы.
46. Двумерные разностные уравнения.
47. Двумерное Z - преобразование.
48. Двумерное ДПФ.
49. Двумерные БИХ и КИХ фильтры.
50. Цифровые методы детектирования сигналов.
51. Построение синхронных цифровых детекторов.
52. Погрешность оценки амплитуды сигнала цифровым методом.
53. Влияние шумов на оценку амплитуды сигнала.
54. Построение фазовых цифровых детекторов.
55. Погрешность оценки фазы сигнала цифровым методом.
56. Влияние шумов на оценку фазы сигнала.
57. Метод Юла—Уолкера (автокорреляционный) оценки параметров АР-модели.
58. Методы оценки параметров АР-модели.
59. Методы оценки СПМ. Сравнение оценок СПМ с истинной СПМ.
60. Базовый алгоритм цифровой когерентной обработки радиосигналов.
61. Базовый алгоритм цифровой квадратурной обработки радиосигналов.
62. Цифровой алгоритм оценки амплитуды узкополосного радиосигнала.
63. Алгоритм оценки мгновенной фазы и частоты узкополосного радиосигнала.
64. Помехоустойчивость цифрового алгоритма обнаружения узкополосного сигнала.
65. Помехоустойчивость алгоритма обнаружения сигнала с оценкой уровня шума.
66. Обнаружение ФМ сигналов.
67. Построение синхронных цифровых детекторов.
68. Погрешность оценки амплитуды сигнала цифровым методом.
69. Влияние шумов на оценку амплитуды сигнала.
70. Построение фазовых цифровых детекторов.
71. Погрешность оценки фазы сигнала цифровым методом.
72. Влияние шумов на оценку фазы сигнала.
73. Фильтр Винера.
74. Алгоритм LMS.
75. Алгоритм RLS.
76. Применение адаптивных фильтров. Идентификация систем. Оценка импульсной характеристики неизвестной системы.
77. Применение адаптивных фильтров.. Очистка сигнала от шума. Выравнивание частотной характеристики неизвестной системы.
78. Оценка параметров линейного предсказания сигнала
79. Цифровой формирователь сигнала DBPSK.
80. Автокорреляционный демодулятор сигнала DBPSK,
81. Когерентный демодулятор сигнала DBPSK.
82. Принципы когерентной демодуляции. Когерентная демодуляция сигналов с АМ.
83. Принципы когерентной демодуляции. Когерентная демодуляция сигналов с ФМ.
84. Принципы когерентной демодуляции. Когерентная демодуляция сигналов с двоичной ОФМ.
85. Когерентная демодуляция сигналов с КАМ.
86. Помехоустойчивость когерентных демодуляторов.
87. Некогерентный демодулятор сигнала с АМ.
88. Некогерентный демодулятор сигнала с ЧМ.
89. Некогерентные демодуляторы двоичного сигнала с ОФМ.
90. Некогерентный демодулятор четырехпозиционного сигнала с ОФМ.
91. Вейвлет-преобразование, общие понятия, свойства. Непрерывное вейвлет-преобразование, его локализующие свойства.
92. Использование непрерывного вейвлет-преобразования для обнаружения изменения свойств сигналов.
93. Дискретное вейвлет-преобразование и его применение для сжатия и шумоочистки сигналов.

### Экзамен

Экзаменационный билет включает в себя два теоретических вопроса. Результаты оцениваются по четырехбалльной шкале («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно»).

Оценка выставляется согласно следующим критериям:

«отлично» - глубокое усвоение материала - полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы при видоизменении вопроса, правильно обоснованные решения, владение



разносторонними навыками и приемами;

«хорошо» - знание программного материала - грамотное изложение, без существенных неточностей в ответе на вопрос, правильное применение теоретических знаний, владение необходимыми навыками при выполнении практических задач;

«удовлетворительно» - усвоение основного материала - при ответе допускаются неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушение последовательности в изложении материала, затруднения в выполнении практических заданий, однако ответы должны быть даны по существу вопроса;

«неудовлетворительно» - незнание материала, при ответе возникают ошибки, затруднения при выполнении практических работ.

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		ПСК-4.1	ПСК-4.4	
5	9	Раздел 1. Введение в ЦОС.	11	4	2	2	7	6	6	Вопросы по разделу
5	9	Раздел 2. Линейные дискретные системы.	40	16	8	8	24	22	22	Вопросы по разделу
5	9	Раздел 3. Преобразование сигналов в дискретных системах.	22	8	4	4	14	12	12	Вопросы по разделу
5	9	Раздел 4. Методы синтеза цифровых фильтров.	33	12	6	6	21	18	18	Вопросы по разделу
5	9	Раздел 5. Методы спектрального анализа.	22	8	4	4	14	12	12	Вопросы по разделу
5	9	Раздел 6. Базовые алгоритмы цифровой обработки сигналов.	22	8	4	4	14	12	12	Вопросы по разделу
5	9	Раздел 7. Применение методов цифровой обработки сигналов.	30	12	6	6	18	18	18	Вопросы по разделу, Вопросы к экзамену
Всего за 9 семестр			180	68	34	34	112	100	100	
Всего по дисциплине			180	68	34	34	112	100	100	

## Критерии оценивания

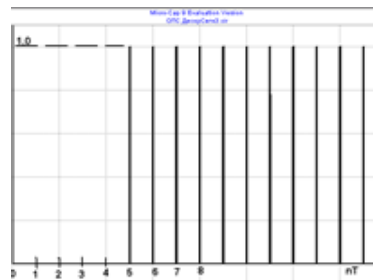
### ПСК-4.1

*Вопросы открытого типа:*

- № 1 Умножение дискретного сигнала  $x(nT)$  на комплексную экспоненту  $\exp(j\omega_0 nT)$  приводит к ...
- № 2 Система такова, что ), где  $x(t)=\sin(t)+\sin(2t)$ , а  $y(t)=\cos(t)+\sin(3t)$ . Является ли система линейной?
- № 3 На в неизвестной линейной системы подается сигнал  $x(t)=2\sin(t)-\cos(3t)$ . Какого вида сигналы можно ожидать на выходе?
- № 4 Представление функции рядом Котельникова требует...
- № 5 При выборе уровня квантования в середине интервала квантования среднее значение погрешности равно ...
- № 6 Цифровой фильтр не содержит в своей структуре следующего элемента (укажите лишнее):
- № 7 Порядок цифрового фильтра определяется...
- № 8 Импульсной характеристикой цифрового фильтра является ...
- № 9 Комплексная дискретная экспонента обладает свойствами:
- № 10 Выражением вида  $x(nT)\exp(j\omega_0 nT)PX(\exp(j(\omega-\omega_0)T))$  записано свойство...

*Вопросы закрытого типа:*

- № 1 Какую форму приобретает амплитудный спектр при сжатии сигнала во времени
- № 2 Определите тип сигнала, приведенного на осциллограмме



- № 3 Как называется процесс преобразования аналогового сигнала в последовательность значений
- № 4 Назовите свойства Z- преобразования
- № 5 Задана частота дискретизации  $f_d = 10$  кГц. Определите основную полосу частот сигнала в шкале частот  $f$
- № 6 Заданы частота дискретизации  $f_d = 10$  кГц и частота гармоники  $f = 3$  кГц. Определить частоту гармоники в шкале нормированной круговой частоты
- № 7 Дайте определение процессу квантования по уровню
- № 8 Какими свойствами должны обладать системы цифровой обработки сигналов
- № 9 К какому типу систем относят рекурсивный фильтр
- № 10 Какие требования предъявляют к представлению функции рядом Котельникова

### ПСК-4.4

*Вопросы открытого типа:*

- № 1 Рекурсивный фильтр является
- № 2 Представление функции рядом Котельникова требует...
- № 3 Цифровой фильтр не содержит в своей структуре следующего элемента (укажите лишнее):
- № 4 Комплексная дискретная экспонента обладает свойствами:
- № 5 Цифровой единичный импульс в цифровой системе – это аналог ...
- № 6 Порядок цифрового фильтра определяется...
- № 7 Импульсной характеристикой цифрового фильтра является
- № 8 Выражением вида  $x(nT)\exp(j\omega_0 nT)PX(\exp(j(\omega-\omega_0)T))$  записано свойство
- № 9 При сжатии сигнала во времени его амплитудный спектр...
- № 10 Выражение  $z^{-k}X(z)$  для целых  $k > 0$  определяет в цифровом сигнале...

*Вопросы закрытого типа:*

- № 1 Задано воздействие  $x(n)=[1;1]$  длины  $N_1 = 2$  и ИХ  $h(n)=[1; 2;1]$  длины  $N_2 = 3$ . Найти реакцию  $y(2)$  по формуле свертки.

- № 2 Какими свойствами характеризуется КИХ-фильтр
- № 3 Чем определяется порядок цифрового фильтра
- № 4 Определить процесс квантования по уровню
- № 5 Какие требования предъявляются к функции для представления рядом Котельникова
- № 6 Что такое импульсная характеристика цифрового фильтра
- № 7 Как преобразуется при сжатии сигнала во времени его амплитудный спектр
- № 8 Как называется процесс преобразования аналогового сигнала в последовательность значений
- № 9 Каковы свойства Z- преобразования
- № 10 Какими свойствами должны обладать системы цифровой обработки сигналов