

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»  
(ТУСУР)**

**УТВЕРЖДАЮ**

**И.о. проректора по УРиМД**

**Нариманова Г.Н.**

**«05» 03 2025 г.**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ**

**Уровень образования: высшее образование - специалитет**

**Направление подготовки / специальность: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы**

**Направленность (профиль) / специализация: Инженерия наземных и космических систем связи, локации и навигации**

**Форма обучения: очная**

**Факультет: Институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**

**Кафедра: институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**

**Курс: 3**

**Семестр: 5**

**Учебный план набора 2025 года**

**Объем дисциплины и виды учебной деятельности**

<b>Виды учебной деятельности</b>	<b>5 семестр</b>	<b>Всего</b>	<b>Единицы</b>
Лекционные занятия	26	26	часов
Практические занятия	26	26	часов
Самостоятельная работа	56	56	часов
Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	144	144	часов
	4	4	з.е.

<b>Формы промежуточной аттестации</b>	<b>Семестр</b>
Экзамен	5

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Нариманова Г.Н.  
Должность: И.о. проректора по УРиМД  
Дата подписания: 05.03.2025  
Уникальный программный ключ:  
eb4e14e0-de8d-48f7-bf05-ceacb167edfe

Томск

Согласована на портале № 83136

## **1. Общие положения**

### **1.1. Цели дисциплины**

1. Изложить основные подходы и способы обработки дискретных и оцифрованных сигналов для радиотехнических приложений.

### **1.2. Задачи дисциплины**

1. Изложить основы и особенности дискретизации аналоговых сигналов.
2. Раскрыть и описать метод спектрального анализа дискретных сигналов.
3. Познакомить с основами фильтрации и преобразования дискретных сигналов.

### **2. Место дисциплины в структуре ОПОП**

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).

Часть блока дисциплин: Обязательная часть.

Модуль дисциплин: Модуль специальности (special hard skills – SHS).

Индекс дисциплины: Б1.О.03.04.

Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

### **3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>Универсальные компетенции</b>		
-	-	-
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		

ОПК-2. Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения	ОПК-2.1. Знает современное состояние области профессиональной деятельности	Знает методы математического описания линейных дискретных систем. Знает основные этапы проектирования цифровых фильтров. Знает основные методы синтеза и анализа частотно-избирательных цифровых фильтров. Знает методы математического описания цифровых фильтров в виде структуры. Знает метод математического описания дискретных сигналов с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Знает алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ). Знает принципы оценки шумов квантования в цифровых фильтрах с фиксированной точкой. Знает принципы построения систем однократной интерполяции и децимации.
	ОПК-2.2. Умеет искать и представлять актуальную информацию о состоянии предметной области	Умеет объяснять математическое описание линейных дискретных систем в виде алгоритмов. Умеет выполнять компьютерное моделирование линейных дискретных систем на основе их математического описания. Умеет задавать требования к частотным характеристикам цифровых фильтров. Умеет обосновывать выбор типа цифрового фильтра, КИХ или БИХ (с конечной или бесконечной импульсной характеристикой). Умеет синтезировать цифровой фильтр и анализировать его характеристики средствами компьютерного моделирования. Умеет обосновывать выбор структуры цифрового фильтра; выполнять компьютерное моделирование структуры цифрового фильтра. Умеет вычислять ДПФ дискретного сигнала с помощью алгоритмов БПФ средствами компьютерного моделирования. Умеет объяснять принципы построения систем однократной интерполяции и децимации.
	ОПК-2.3. Владеет навыками работы за персональным компьютером, в том числе с пакетами прикладных программ для моделирования физических и математических процессов с целью решения профессиональных задач	Владеет навыками составления математических моделей линейных дискретных систем и дискретных сигналов. Владеет навыками компьютерного моделирования линейных дискретных систем . Владеет навыками компьютерного проектирования цифровых фильтров. Владеет навыками компьютерного вычисления ДПФ на основе БПФ.

#### Профессиональные компетенции

-	-	-
---	---	---

#### **4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		5 семестр
<b>Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего</b>	52	52
Лекционные занятия	26	26
Практические занятия	26	26
<b>Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего</b>	56	56
Подготовка к тестированию	56	56
<b>Подготовка и сдача экзамена</b>	36	36
<b>Общая трудоемкость (в часах)</b>	144	144
<b>Общая трудоемкость (в з.е.)</b>	4	4

#### **5. Структура и содержание дисциплины**

##### **5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности**

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Названия разделов (тем) дисциплины	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
<b>5 семестр</b>					
1 Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы	6	8	8	22	ОПК-2
2 Спектральный анализ дискретных сигналов	6	2	8	16	ОПК-2
3 Дискретные системы в цифровой обработке сигналов	6	6	12	24	ОПК-2
4 Преобразование частоты дискретных сигналов	4	8	14	26	ОПК-2
5 Эффекты квантования при обработке цифровых сигналов	4	2	14	20	ОПК-2
Итого за семестр	26	26	56	108	
Итого	26	26	56	108	

##### **5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины**

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)	Трудоемкость (лекционные занятия), ч	Формируемые компетенции
<b>5 семестр</b>			

1 Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы	1.1. Понятие об аналоговых, дискретных и цифровых сигналах. Спектр дискретного сигнала.	6	ОПК-2
	1.2. Дискретизация гармонического сигнала. Теорема Котельникова. Алиасинг. 1.3. Дискретизация низкочастотного сигнала. Выбор частоты дискретизации низкочастотного сигнала. Зоны Найквиста. Причины возникновения и меры снижения алиасинга при дискретизации низкочастотных сигналов. 1.4. Дискретизация полосового сигнала. Выбор частоты дискретизации полосового сигнала. Оптимальная частота дискретизации полосового сигнала. Причины возникновения и меры снижения алиасинга при дискретизации полосовых сигналов. Инверсия спектра. 1.5. Аналитический сигнал. Квадратурные составляющие аналитического сигнала. Формирование квадратур сигнала. Квадратурная дискретизация сигнала. Преобразование Гильберта. 1.6. Огибающая, энергия и мощность дискретного сигнала.		
2 Спектральный анализ дискретных сигналов	Итого	6	
	2.1. Понятие о дискретном преобразовании Фурье (ДПФ). Свойства ДПФ. Взаимосвязь ДПФ и спектра дискретного сигнала. ДПФ как линейное преобразование сигнала в матричном виде. Улучшение сигнал/шум после ДПФ. 2.2. Эффект растекания (утечки) спектра в результате ДПФ. Гребешковые искажения в результате ДПФ. 2.3. Весовые (оконные) функции для снижения эффекта растекания (утечки) спектра после ДПФ. 2.4. Разрешающая способность ДПФ. Способ повышения разрешающей способности ДПФ. 2.5. Понятие о быстром преобразовании Фурье (БПФ). БПФ с прореживанием по времени. БПФ с прореживанием по частоте. Операция «бабочка» при БПФ.	6	ОПК-2
Итого		6	

3 Дискретные системы в цифровой обработке сигналов	3.1. Понятие о дискретной системе. Линейные и нелинейные дискретные системы. Свойства линейных дискретных систем. Линейные дискретные системы с памятью по входному и выходному сигналу (нерекурсивные и рекурсивные линейные дискретные системы). 3.2. Описание дискретных линейных систем. Применение z-преобразования. Устойчивость. Дискретная свёртка. Свёртка как линейное преобразование сигнала в матричном виде. Групповое время запаздывания. 3.3. Структурные схемы КИХ- и БИХ-фильтров. Формы реализации дискретных фильтров. Сравнение КИХ- и БИХ- фильтров. 3.4. Идеальный дифференцирующий дискретный фильтр. Преобразование Гильберта как дискретный фильтр. 3.5. Взаимосвязь ДПФ и дискретной фильтрации. АЧХ фильтра отсчёта ДПФ. Алгоритм Герцеля. Фильтрация дискретного сигнала с помощью ДПФ. 3.6. Подходы к проектированию дискретных фильтров.	6	ОПК-2	
		Итого	6	
4 Преобразование частоты дискретных сигналов	4.1. Понятие об изменении частоты дискретизации дискретных сигналов. 4.2. Прореживание. Интерполяция. Передискретизация. 4.3. СИС-фильтры. 4.4. Преобразование частоты дискретных сигналов.	4	ОПК-2	
		Итого	4	
5 Эффекты квантования при обработке цифровых сигналов	5.1. Основные эффекты при квантовании в цифровых системах. 5.2. Эффекты квантования в цифровых фильтрах. 5.3. Переполнение разрядной сетки вычислителя. Предельные циклы. 5.4. Квантование дискретных сигналов. Шум квантования дискретных сигналов.	4	ОПК-2	
		Итого	4	
Итого за семестр		26		
Итого		26		

### 5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
<b>5 семестр</b>			
1 Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы	Знакомство с пакетом прикладных программ. Формирование дискретных сигналов.	4	ОПК-2
	Дискретное представление сигналов.	4	ОПК-2
	Итого	8	
2 Спектральный анализ дискретных сигналов	Дискретное преобразование Фурье для спектрального анализа дискретных сигналов	2	ОПК-2
	Итого	2	
3 Дискретные системы в цифровой обработке сигналов	Линейная фильтрация дискретных сигналов	4	ОПК-2
	Синтез дискретных систем	2	ОПК-2
	Итого	6	
4 Преобразование частоты дискретных сигналов	Реализация преобразования частоты во временной и частотной областях	4	ОПК-2
	Борьба с эффектом алиасинга	4	ОПК-2
	Итого	8	
5 Эффекты квантования при обработке цифровых сигналов	Эффекты квантования коэффициентов фильтра и выходных сигналов	2	ОПК-2
	Итого	2	
Итого за семестр		26	
Итого		26	

#### **5.4. Лабораторные занятия**

Не предусмотрено учебным планом

#### **5.5. Курсовой проект / курсовая работа**

Не предусмотрено учебным планом

#### **5.6. Самостоятельная работа**

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
<b>5 семестр</b>				
1 Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы	Подготовка к тестированию	8	ОПК-2	Тестирование
	Итого	8		
2 Спектральный анализ дискретных сигналов	Подготовка к тестированию	8	ОПК-2	Тестирование
	Итого	8		

3 Дискретные системы в цифровой обработке сигналов	Подготовка к тестированию	12	ОПК-2	Тестирование
	Итого	12		
4 Преобразование частоты дискретных сигналов	Подготовка к тестированию	14	ОПК-2	Тестирование
	Итого	14		
5 Эффекты квантования при обработке цифровых сигналов	Подготовка к тестированию	14	ОПК-2	Тестирование
	Итого	14		
Итого за семестр		56		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		92		

### 5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности			Формы контроля
	Лек. зан.	Прак. зан.	Сам. раб.	
ОПК-2	+	+	+	Тестирование, Экзамен

## 6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Формы контроля	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
<b>5 семестр</b>				
Тестирование	15	25	30	70
Экзамен				30
Итого максимум за период	15	25	30	100
Наращающим итогом	15	40	70	100

### 6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Баллы на дату текущего контроля	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК	2

### **6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку**

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

**Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку**

Оценка	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 – 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 – 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 – 69	
	60 – 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **7.1. Основная литература**

1. Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие / Р. Р. Абенов, М. И. Курячий, А. А. Гельцер, Е. В. Рогожников, К. Ю. Попова - 2018. 234 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/9810>.
2. Цифровая обработка сигналов : Пер. с англ. / Р. Лайонс. - 2-е изд. - М. : БИНОМ, 2007. - 652 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 20 экз.).
3. Афанасьев, А. А. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие / А. А. Афанасьев, А. А. Рыболовлев, А. П. Рыжков. — Москва : Горячая линия-Телеком, 2019. — 356 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/176119>.

### **7.2. Дополнительная литература**

1. Цифровая обработка сигналов : Пер. с англ. / А. В. Оппенгейм, Р. В. Шафер ; пер. : С. А. Кулешов ; ред. пер. : А. С. Ненашев. - М. : Техносфера, 2006. - 855 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 70 экз.).
2. Сергиенко, Александр Борисович. Цифровая обработка сигналов : Учебное пособие для вузов. - СПб. : Питер , 2007. - 750 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 50 экз.).

### **7.3. Учебно-методические пособия**

#### **7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия**

1. Цифровая обработка сигналов: Учебно-методическое пособие для проведения практических занятий, лабораторных работ и организации самостоятельной работы студентов / А. С. Аникин, К. Д. Зайков, Г. А. Калашников - 2024. 157 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/10942>.

#### **7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

##### **Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

##### **Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

##### **Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

#### **7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: <https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyyh>.

### **8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины**

#### **8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий**

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

#### **8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий**

Учебная лаборатория информационных технологий: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ); 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 423 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Доска магнитно-маркерная BRAUBERG;
- LMC-100103 Экран с электроприводом Master Control Matte 203\*203 см White FiberGlass, черная кайма по периметру;
- Проектор NEC «M361X»;
- Системный блок (16 шт.);
- Мониторы (16 шт.);
- Компьютер;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- 7-Zip;
- Adobe Acrobat Reader;
- Google Chrome;
- OpenOffice;
- PTC Mathcad 13, 14;
- Scilab;

#### **8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы**

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 101 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 107 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 130 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;

- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

#### **8.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфорtnого просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

### **9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

#### **9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации**

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы	ОПК-2	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
2 Спектральный анализ дискретных сигналов	ОПК-2	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
3 Дискретные системы в цифровой обработке сигналов	ОПК-2	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
4 Преобразование частоты дискретных сигналов	ОПК-2	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
5 Эффекты квантования при обработке цифровых сигналов	ОПК-2	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть
2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков
4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции
2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне <b>ориентирования</b> , представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на <b>репродуктивном</b> уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на <b>аналитическом</b> уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.

5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на <b>системном</b> уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.
-------------	--

### **9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий**

1. Сигналы, у которых время и мгновенные значения непрерывны, называются:  
а) цифровыми;  
б) аналоговыми;  
в) дискретными;  
г) квантованными.
2. Частота дискретизации низкочастотных сигналов определяется:  
а) теоремой Котельникова;  
б) полосой спектра сигнала;  
в) верхней граничной частотой;  
г) центральной частотой.
3. Явление, при котором непрерывные сигналы после дискретизации имеют одинаковую частоту называют:  
а) растеканием спектра;  
б) передискретизацией;  
в) алиасингом;  
г) гребешковым эффектом.
4. Для устранения наложения спектра после дискретизации аналогового сигнала применяют:  
а) преобразование частоты;  
б) уменьшение частоты дискретизации;  
в) фильтрацию;  
г) инверсию спектра.
5. Для аналогового гармонического сигнала частотой 10 кГц частота дискретизации должна быть не меньше:  
а) 100 кГц;  
б) 50 кГц;  
в) 10 кГц;  
г) 20 кГц.
6. Для аналогового низкочастотного сигнала полосой 15 кГц частота дискретизации должна быть не меньше:  
а) 150 кГц;  
б) 75 кГц;  
в) 15 кГц;  
г) 30 кГц.
7. Частота дискретизации, при которой «копии» спектров дискретных сигналов расположены в первой зоне Найквиста и не соприкасаются друг с другом, называется:  
а) граничной;  
б) верхней;  
в) оптимальной;  
г) центральной.
8. Если аналоговый сигнал задержан во времени, то после дискретизации:  
а) амплитудный спектр становится инвертированным;  
б) фазовый спектр становится инвертированным;  
в) амплитудный спектр преобразуется путём добавления к исходному значения, зависящего от частоты;  
г) фазовый спектр преобразуется путём добавления к исходному значения, зависящего от частоты.
9. Явление, при котором спектр аналогового сигнала с частотами, не кратными  $fs / N$ , после

- дискретизации «растекается» по другим, ранее несуществующим частотам, называется:
- квантованием;
  - утечкой спектра;
  - инверсией спектра;
  - преобразованием по частоте спектра сигнала.
10. Если количество дискретных отсчётов сигнала возросло в 10 раз, то после дискретного преобразования Фурье отношение сигнал/шум изменилось на:
- + 10 дБ;
  - 10 дБ;
  - + 20 дБ;
  - 20 дБ.

### **9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов**

- Понятие об аналоговых, дискретных и цифровых сигналах. Спектр дискретного сигнала.
- Дискретизация гармонического сигнала. Теорема Котельникова. Алиасинг.
- Дискретизация низкочастотного сигнала. Выбор частоты дискретизации низкочастотного сигнала. Зоны Найквиста. Причины возникновения и меры снижения алиасинга при дискретизации низкочастотных сигналов.
- Дискретизация полосового сигнала. Выбор частоты дискретизации полосового сигнала. Оптимальная частота дискретизации полосового сигнала. Причины возникновения и меры снижения алиасинга при дискретизации полосовых сигналов. Инверсия спектра.
- Аналитический сигнал. Квадратурные составляющие аналитического сигнала. Формирование квадратур сигнала. Квадратурная дискретизация сигнала. Преобразование Гильберта.
- Огибающая, энергия и мощность дискретного сигнала.
- Понятие о дискретном преобразовании Фурье (ДПФ). Свойства ДПФ. Взаимосвязь ДПФ и спектра дискретного сигнала. ДПФ как линейное преобразование сигнала в матричном виде. Улучшение сигнал/шум после ДПФ.
- Эффект растекания (утечки) спектра в результате ДПФ. Гребешковые искажения в результате ДПФ.
- Весовые (оконные) функции для снижения эффекта растекания (утечки) спектра после ДПФ.
- Разрешающая способность ДПФ. Способ повышения разрешающей способности ДПФ.
- Понятие о быстром преобразовании Фурье (БПФ). БПФ с прореживанием по времени. БПФ с прореживанием по частоте. Операция «бабочка» при БПФ.
- Понятие о дискретной системе. Линейные и нелинейные дискретные системы. Свойства линейных дискретных систем. Линейные дискретные системы с памятью по входному и выходному сигналу (нерекурсивные и рекурсивные линейные дискретные системы). Примеры.
- Описание дискретных линейных систем. Применение z-преобразования. Устойчивость. Дискретная свёртка. Свёртка как линейное преобразование сигнала в матричном виде. Групповое время запаздывания.
- Структурные схемы КИХ- и БИХ- фильтров. Формы реализации дискретных фильтров. Сравнение КИХ- и БИХ- фильтров.
- Идеальный дифференцирующий дискретный фильтр. Преобразование Гильберта как дискретный фильтр.
- Взаимосвязь ДПФ и дискретной фильтрации. АЧХ фильтра отсчёта ДПФ. Алгоритм Герцеля. Фильтрация дискретного сигнала с помощью ДПФ.
- Подходы к проектированию дискретных фильтров.
- Понятие об изменении частоты дискретизации дискретных сигналов.
- Прореживание. Интерполяция. Передискретизация.
- CIC-фильтры.
- Основные эффекты при квантовании в цифровых системах.
- Эффекты квантования в цифровых фильтрах.
- Переполнение разрядной сетки вычислителя. Предельные циклы.
- Квантование дискретных сигналов. Шум квантования дискретных сигналов.

## **9.2. Методические рекомендации**

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

- чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;
- если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;
- осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

## **9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки

## **9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается

доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТС  
протокол № 7 от «26» 12 2024 г.

### СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ИРЭТ	А.М. Заболоцкий	Согласовано, 47c2d4ff-8c0e-484c- b856-20e4ba4f0e52
Заведующий обеспечивающей каф. РТС	А.С. Аникин	Согласовано, 90a9b589-4503-47e5- 999f-a5e10963c1fa
Начальник учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972- a7c6-ab6ee1f21e73

### ЭКСПЕРТЫ:

Директор, каф. ИРЭТ	А.М. Заболоцкий	Согласовано, 47c2d4ff-8c0e-484c- b856-20e4ba4f0e52
Старший преподаватель, каф. РТС	Д.О. Ноздреватых	Согласовано, bd0039b0-9c48-4859- 9803-60c9ddba7116

### РАЗРАБОТАНО:

Доцент, каф. РТС	А.С. Аникин	Разработано, 90a9b589-4503-47e5- 999f-a5e10963c1fa
Ассистент, каф. РТС	К.Д. Зайков	Разработано, c51e3a8b-f946-47fd- bdb7-2247f1dc1de8