

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет информационных технологий, экономики и управления

Кафедра «Системы управления»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФИТЭУ

 /И.А. Рычка/

«31» января 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Цифровая обработка сигналов»**


направление подготовки  
27.04.04 «Управление в технических системах»  
(уровень магистратуры)

направленность (профиль)  
«Управление технологическими процессами и установками  
(в рыбохозяйственном комплексе)»

Петропавловск-Камчатский  
2024

Рабочая программа разработана в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах», профиль «Управление технологическими процессами и установками (в рыбохозяйственном комплексе)», и учебного плана ФГБОУ ВО «КамчатГТУ».

Составитель рабочей программы:  
доцент кафедры СУ, к.ф.-м.н., доцент

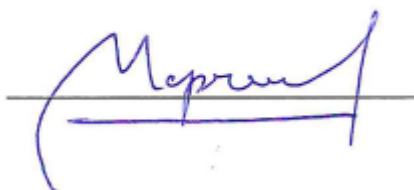


Водинчар Г.М.

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры «Системы управления»

Протокол №6 от «31» января 2024 года.

«31» января 2024 г.



Заведующий кафедрой  
«Системы управления»  
А.А. Марченко

## 1. Цели и задачи учебной дисциплины

Целью дисциплины является теоретическое и практическое освоение методов и средств цифровой обработки сигналов (ЦОС), позволяющее выпускнику успешно вести научно-исследовательскую деятельность, направленную на создание и обеспечение функционирования систем различного назначения.

*Задачи изучения дисциплины:*

- изучение в требуемом объеме соответствующего математического аппарата цифровой обработки сигналов;
- изучение способов реализации эффективных методов и алгоритмов цифрового анализа информационных данных на современных персональных компьютерах.

## 2. Требования к результатам освоения дисциплины

Дисциплина «Цифровая обработка сигналов» направлена на освоение следующих компетенций основной образовательной программы подготовки магистра по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах» федерального государственного образовательного стандарта высшего образования::

- Способен разрабатывать организационное обеспечение АСУП (ПК-3).

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлены в таблице.

Таблица - Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код компетенции	Планируемые результаты освоения образовательной программы	Код и наименование индикатора достижения	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
ПК-3	Способен разрабатывать организационное обеспечение АСУП	ИД-1ПК-3: Знает прикладные компьютерные программы для вычислений: наименования, возможности и порядок работы	Знать: методы и алгоритмы решения задач цифровой обработки сигналов	З(ПК3)1
			Уметь: применять современный методы цифровой обработки сигналов в научных исследованиях	У(ПК-3)2

		<p>в них</p> <p><b>ИД-2ПК-3:</b> Умеет разрабатывать организационную структуру организации с учетом возможности упорядочивания и автоматизации процессов</p> <p><b>ИД-3ПК-3:</b> Владеет навыками разработки организационного обеспечения АСУП</p>	<p><b>Владеть:</b> навыками применения методов и алгоритмов решения задач цифровой обработки сигналов</p>	<b>В(ПК-3)3</b>
--	--	--	---	-----------------

### 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений в структуре основной образовательной программы.

### 4. Содержание дисциплины

#### 4.1. Тематический план дисциплины

##### заочная форма обучения

Наименование разделов и тем	Всего часов	Контактная работа	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы			
Тема 1: Цифровые сигналы и их математическое описание	36	6	2	-	4	30	Опрос, контроль СРС	
Тема 2: Цифровая фильтрация	36	6	2	-	4	30		
Тема 3: Корреляционный и спектральный анализ	36	6	2	-	4	30		
Тема 4: Основы вейвлет-анализа	32	-	-	-	-	32		
<b>Зачет дифференцированный</b>						4	Опрос	
<b>Всего</b>	<b>144</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	<b>122</b>		

#### 4.2. Описание содержания дисциплины

##### *Тема 1. Цифровые сигналы и их математическое описание*

Общая схема ЦОС. Типы сигналов и способы их описания. Типовые дискретные сигналы и их аналоги. Основная полоса частот. Ряд Фурье. Интегральное преобразование Фурье. Обратное преобразование Фурье. Свойства преобразования Фурье. Понятие спектра. Дискретное преобразование Фурье. Обратное дискретное преобразование Фурье. Свойства ДПФ. БПФ с прореживанием по времени, по частоте. Преобразование Лапласа и Z-преобразование. Соответствие  $p$ - и  $z$ - областей. Свойства Z-преобразования. Таблица соответствий. Обратное Z-преобразование. Вычисление обратного Z-преобразования методом разложения в степенной ряд. Вычисление обратного Z-преобразования методом разложения на простые дроби. Вычисление обратного Z-преобразования с использованием теоремы Коши о вычетах.

**Лабораторная работа 1.1.** *Генерация дискретных сигналов.*

**Лабораторная работа 1.2.** *Спектры сигналов.*

**Лабораторная работа 1.3.** *Z-преобразование.*

### **СРС**

- 1.
2. Подготовка отчетов по лабораторным работам 1.1-1.3.
3. Подготовка к зачету по перечню примерных вопросов.

### **Тема 2. Цифровая фильтрация**

Понятие ЛДС. Описание ЛДС во временной области. Описание ЛДС в  $z$ -области области. Описание ЛДС в частотной области. Цифровые фильтры. КИХ- и БИХ-фильтры. Частотные характеристики фильтров. Устойчивость. Критерии устойчивости. Фильтры дискретного дифференцирования и интегрирования. Синтез фильтров. Аналоговый фильтр-прототип. Типовые классы фильтров. Функции для синтеза КИХ-фильтров в MATLAB. FDATool. Анализ фильтра.

**Лабораторная работа 2.1.** *Описание линейных дискретных систем.*

**Лабораторная работа 2.2.** *Синтез КИХ-фильтров.*

### **СРС**

1. Подготовка отчетов по лабораторным работам 2.1-2.2.
2. Подготовка к зачету по перечню примерных вопросов.

### **Тема 3. Корреляционный и спектральный анализ**

Дискретная свертка и ее свойства. Линейные и круговая свертки. АКФ и ВКФ детерминированных сигналов, их свойства и применение. Случайные дискретные сигналы. АКФ и ВКФ случайного сигнала. Стационарные сигналы. Дискретный белый шум. Спектральная плотность и ее свойства. Кросс-спектры. Оценка спектральной плотности мощности методом БПФ. Метод периодограмм. Оконные функции и их характеристики. Спектр сигнала, ограниченного по времени. Спектр дискретного сигнала. Изучение эффекта подмены частот. Метод Бартлетта-Уэлча. Метод Юла-Уокера. Использование `sptool`.

**Лабораторная работа 3.1.** *Свертка и корреляция детерминированных сигналов.*

**Лабораторная работа 3.2.** *Спектральный анализ сигналов.*

### **СРС**

3. Подготовка отчетов по лабораторным работам 3.1-3.2.
4. Подготовка к зачету по перечню примерных вопросов.

### **Тема 4. Основы вейвлет-анализа**

Положение и ширина сигнала во временной и частотной областях. Частотно-временная неопределенность. Ящики Гейзенберга. Частотное и временное разрешение. Экстремальное частотно-временное свойство гармонического сигнала, модулированного гауссовским импульсом. Частотно-временные атомы. Вещественное вейвлет-преобразование. Требование на равенство нулю моментов и его смысл. Условия допустимости — теорема Кальдерона-Гроссмана-Морле. Воспроизводящее ядро и масштабирующая функция. Вейвлеты Наара, МНАТ- и WAVE-вейвлеты, их частотно-временная локализация. Частотно-временное разрешение вейвлетов. Вейвлеты Габора и Добеши.

## **5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся**

В целом внеаудиторная самостоятельная работа обучающегося при изучении курса включает в себя следующие виды работ:

- проработка (изучение) материалов лекций;
- чтение и проработка рекомендованной основной и дополнительной литературы;
- подготовка к лабораторным работам;
- поиск и проработка материалов из Интернет-ресурсов, периодической печати;
- выполнение домашних заданий в форме творческих (проблемно-поисковых, групповых) заданий, докладов;
- подготовка к текущему и итоговому (промежуточная аттестация) контролю знаний по дисциплине.

Основная доля самостоятельной работы обучающихся приходится на подготовку к лабораторным работам, тематика которых полностью охватывает содержание курса. Самостоятельная работа по подготовке к лабораторным работам предполагает умение работать с первичной информацией.

## **6. Фонд оценочных средств**

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
3. Типовые контрольные задания или материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

### **Примерный перечень вопросов к промежуточной аттестации**

Обобщенная схема ЦОС. Классификация сигналов. Алгоритмы корреляции и свертки.

1. Ряд Фурье. Непрерывное преобразование Фурье. Свойства преобразования Фурье (с доказательствами).
2. ДПФ. Соотношение ДПФ и непрерывного преобразования Фурье. Свойства ДПФ (с доказательствами).

3. Спектр гармонического сигнала. Спектр сигнала, ограниченного во времени. Спектр дискретного сигнала. Наложение частот. Теорема Котельникова.
4. Алгоритмы БПФ с прореживанием по времени и частоте.
5. Спектральный анализ. Суть параметрических и непараметрических методов. «Подводные камни» непараметрических методов и пути их обхода.
6. Параметрические методы спектрального анализа: методы Бартлетта и Уэлша, метод Блэкмена-Тьюки. Непараметрические методы: АР-модель сигнала, оценка спектральной плотности мощности.
7. Преобразование Лапласа. Z-преобразование и его свойства (с доказательствами). Обратное z-преобразование.
8. Преобразование Лапласа. Z-преобразование. Отображение z-плоскости на p-плоскость.
9. Методы вычисления обратного Z-преобразования.
10. Определение ЛДС. Свойства ЛДС. Описание ЛДС во временной области. Типы ЛДС. Критерий устойчивости ЛДС во временной области.
11. Определение ЛДС. Свойства ЛДС. Описание ЛДС в z-области и в частотной области. Карта нулей и полюсов. Критерий устойчивости ЛДС в z-области.
12. Алгоритмы синтеза КИХ-фильтров. Метод взвешивания. Метод частотной выборки.
13. Метод синтеза оптимальных по Чебышеву КИХ-фильтров.
14. Алгоритмы синтеза БИХ-фильтров.
15. Положение и ширина сигнала во временной и частотной областях.
16. Частотно-временная неопределенность.
17. Частотное и временное разрешение.
18. Экстремальное частотно-временное свойство гармонического сигнала, модулированного гауссовским импульсом.
19. Частотно-временные атомы.
20. Вещественное вейвлет-преобразование.
21. Условия допустимости — теорема Кальдерона-Гроссмана-Морле.
22. Воспроизводящее ядро и масштабирующая функция.
23. Вейвлеты Наара, МНАТ- и WAVE-вейвлеты
24. Частотно-временное разрешение вейвлетов.
25. Вейвлеты Габора и Добеши.

## **7. Рекомендуемая литература**

### **5.1. Основная литература**

1. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов по спец. "Радиотехника". - 2016.
2. Иванов М.Т., Сергиенко А. Б., Ушаков В. Н. Теоретические основы радиотехники. Учебное пособие / под ред. В. Н. Ушакова - СПб.: Питер, 2014.
3. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. - СПб.: ВНУ, 2013.
4. Мандрикова О. В. Теория применения вейвлет-преобразования: учеб. пособие. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2019. 130 с.

### **5.2. Дополнительная литература**

1. Введение в цифровую фильтрацию / Под ред. Р. Богнера и А. Константинодиса. - М.: Мир, 1976.

2. Голд Б., Рэйдер Ч. Цифровая обработка сигналов / Пер. с англ., под ред. А. М. Трахтмана. - М., "Сов. радио", 1973, 368 с.
3. Гоноровский И. С., Демин М. П. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1994.
4. Каппелини В., Константиноидис А. Дк., Эмилиани П. Цифровые фильтры и их применение. - М.: Энергоатомиздат, 1983.
5. Карташев В. Г. Основы теории дискретных сигналов и цифровых фильтров. - М.: Высш. шк., 1982.
6. Куприянов М. С., Матюшкин Б. Д. - Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования. - СПб.: Политехника, 1999.
7. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / Пер. с англ. - М.: Мир, 1990.
8. Оппенгейм А. В., Шафер Р. В. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. / Под ред. С. Я. Шаца. - М.: Связь, 1979.
9. Рабинер Л, Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Пер. с англ.; Под ред. Ю. И. Александрова. - М.: Мир, 1978.
10. Сиберт У. М. Цепи, сигналы, системы: В 2-х ч. / Пер. с англ. - М.: Мир, 1988.
11. Френкс Л. Теория сигналов. / Пер. с англ., под ред. Д. Е. Вакмана. - М.: Сов. радио, 1974.
12. Хемминг Р. В. Цифровые фильтры: Пер. с англ. / Под ред. А. М. Трахтмана. - М.: Сов. радио, 1980.
13. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д. Д. Кловского. - М.: Радио и связь, 2000.
14. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. - 1104 с.
15. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 2000.

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Научная электронная библиотека Elibrary <https://elibrary.ru>
2. Справочная система «Мир математических уравнений» <http://eqworld.ibmnet.ru>
3. Справочная система SciLab <http://scilab.org>

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

### **Подготовка к лабораторным занятиям**

Лабораторная работа – это выполнение студентами под руководством преподавателя или по инструкции заданий (решение задач, написание программ) с применением персонального компьютера.

В ходе лабораторных работ студенты воспринимают и осмысливают новый учебный материал. Лабораторные занятия носят систематический характер, регулярно следуя за лекционными занятиями. Лабораторные работы выполняются согласно графику, при этом соблюдается принцип индивидуального выполнения работ.

Обучающийся должен подготовить отчет к каждой лабораторной работе, предусмотренной планом.



При подготовке к лабораторным занятиям необходимо заранее изучить методические рекомендации по его проведению. Обратите внимание на цель занятия, на основные вопросы для подготовки к занятию, на содержание темы занятия.

## **10. Курсовой проект (работа)**

В соответствии с учебным планом курсовое проектирование по дисциплине не предусмотрено.

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

### ***11.1 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса***

- электронные образовательные ресурсы, представленные в п. 8 данной рабочей программы;
- интерактивное общение с обучающимися и консультирование посредством электронной почты;
- работа с обучающимися в ЭИОС ФГБОУ ВО «КамчатГТУ».

### ***11.2 Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса***

При освоении дисциплины используется программное обеспечение:

- операционная система Astra Linux;
- комплект офисных программ Р-7 в составе текстового процессора, программы работы с электронными таблицами, программные средства редактирования и демонстрации презентаций.
- математические пакеты Scilab и Matlab.

### ***11.3 Перечень информационно-справочных систем***

- справочная математическая система Мир математических уравнений <https://eqworld.ipmnet.ru/>

## **12. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория 7-518 на 32 посадочных места с комплектом учебной мебели и аудиторной меловой доской. Лабораторные занятия проводятся в лаборатории моделирования систем управления 7-517 (9 учебных персональных компьютеров, 12 посадочных мест, маркерная аудиторная доска, учебная мебель). Самостоятельная работа осуществляется в кабинете самостоятельной работы студентов 7-517 (9 учебных персональных компьютеров, 12 посадочных мест, маркерная аудиторная доска, учебная мебель).