

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

Утверждаю

Зам. директора по УВР

А.Г. Жуковский

« 30 » 12 2022 г.

Цифровая обработка сигналов Б1.В.ДВ.11.01
рабочая программа дисциплины

Кафедра
Направление подготовки
Профили

Общенаучной подготовки
09.03.01 Информатика и вычислительная техника
Интеллектуальные системы обработки информации,
Прикладные информационные системы и
современные языки программирования
очная, заочная

Формы обучения

**Распределение часов дисциплины по семестрам (для очной формы обучения),
курсам (для заочной формы обучения)**

Вид учебной работы	ОФ		ЗФ	
	ЗЕ	часов	ЗЕ	часов
Общая трудоемкость дисциплины, в том числе (по семестрам, курсам):	3	108/6	3	108/4
Контактная работа, в том числе (по семестрам, курсам):		32/6		8/4
Лекции		16/6		4/4
Лабораторных работ				
Практических занятий		16/6		4/4
Семинаров				
Самостоятельная работа		76/6		100/4
Контроль		-		-
Число контр. работ (по курсам)				
Число КР (по семестрам, курсам)				
Число КП (по семестрам, курсам)				
Число зачетов с разбивкой по семестрам		1/6		1/4
Число экзаменов с разбивкой по семестрам				

Программу составил:

Доцент кафедры ОНП, к.ф.-м.н., доцент Бородин А.В.

Рецензент(ы):

Заведующий кафедрой ИВТ д.т.н., профессор Соколов С.В.

Рабочая программа дисциплины

«Цифровая обработка сигналов»

Разработана в соответствии с ФГОС ВО направления подготовки **09.03.01 ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 сентября 2017 г. N 929.

Составлена на основании учебных планов направления **09.03.01 Информатика и вычислительная техника**, профилей «Интеллектуальные системы обработки информации», «Прикладные информационные системы и современные языки программирования», одобренных Учёным советом СКФ МТУСИ, протокол № 5 от 26.12.2022, и утвержденных директором СКФ МТУСИ 26.12.2022 г.

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры

«Общенаучной подготовки»

Протокол от «19» 12 2022г. № 5

Зав. кафедрой  Конкин Б.Б.

Визирование для использования в 20__/20__ уч. году

Утверждаю

Зам. директора по УВР _____

«___» _____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена на заседании кафедры
«Общенаучной подготовки»

Протокол от «___» _____ 20__ г. № _____

Зав. кафедрой _____

Визирование для использования в 20__/20__ уч. году

Утверждаю

Зам. директора по УВР _____

«___» _____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена на заседании кафедры
«Общенаучной подготовки»

Протокол от «___» _____ 20__ г. № _____

Зав. кафедрой _____

Визирование для использования в 20__/20__ уч. году

Утверждаю

Зам. директора по УВР _____

«___» _____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена на заседании кафедры
«Общенаучной подготовки»

Протокол от «___» _____ 20__ г. № _____

Зав. кафедрой _____

Визирование для использования в 20__/20__ уч. году

Утверждаю

Зам. директора по УВР _____

«___» _____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена на заседании кафедры
«Общенаучной подготовки»

Протокол от «___» _____ 20__ г. № _____

Зав. кафедрой _____

1. Цели изучения дисциплины

Целями изучения дисциплины «Цифровая обработка сигналов» являются:

- изучение алгоритмов дискретизации и квантования сигналов, теории Z-преобразования дискретных сигналов и разностных уравнений дискретных систем;
- изучение принципов действия, характеристик, параметров и особенностей устройства цифровых фильтров, освоение алгоритмов синтеза цифровых фильтров;
- приобретение студентами знаний и навыков практического использования цифровых сигнальных процессоров, а также базовых ячеек микропроцессоров при разработке и эксплуатации средств связи.

2. Планируемые результаты обучения

Изучение дисциплины направлено на формирование у выпускника способности решать профессиональные задачи, в соответствии с *проектной деятельностью*.

Результатом освоения дисциплины являются сформированные у выпускника следующие компетенции:

Компетенции выпускника, формируемые в результате освоения дисциплины (в части, обеспечиваемой дисциплиной)	
ПК-4. Способен осуществлять техническую поддержку процессов создания (модификации) и сопровождения ИС, выполнять работы и управление работами по созданию (модификации) и сопровождению ИС, управлять проектами по созданию и сопровождению ИС.	
Знать:	методы хранения и обработки цифровых сигналов с помощью нерекурсивной и рекурсивной цифровой фильтрации; алгоритмы синтеза цифровых фильтров.
Уметь:	синтезировать цифровой фильтр с целью обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности
Владеть:	методами определения характеристик и параметров цифровых фильтров и их компьютерного исследования

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Требования к предварительной подготовке обучающегося (предшествующие дисциплины, модули, темы):	
1.	Б1.О.19 «Математика»
2.	Б1.О.07.02 «Электротехника»
3.	Б1.О.07.03 «Электроника»
Последующие дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо:	
1.	Б1.В.17 «Автоматизация управления информационными системами»

4. Структура и содержание дисциплины

4.1 Очная форма обучения, 4 года (всего 108 часов, 32 аудиторных часа)

Код зан.	Тема и краткое содержание занятия	Вид зан.	Кол. часов	Компетенции	УМИО
1	2	3	4	5	6
Курс 3, Семестр 6					
Модуль 1 – Цифровые сигналы. Общие сведения – (16+38=54)					
1.1	Предмет и содержание дисциплины, ее место и роль в подготовке специалиста. 1. Порядок изучения дисциплины, рекомендуемая литература, формы контроля и отчетности, области применения цифровой обработки сигналов. 2. Классификация сигналов. 3. Структурная схема преобразования сигналов при цифровой обработке	Лек.	2	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л2.1
1.2	Дискретизированные сигналы. 1. Теорема Котельникова. Частота Найквиста. 2. Математические модели дискретных сигналов. Процедура дискретизации сигнала. 3. Структура спектра дискретизованного сигнала	Лек.	2	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л2.1
1.3	Исследование спектров ДПФ различных сигналов. Спектр периодического сигнала. Спектр прямоугольного импульса. Спектр суммы гармонических сигналов.	П.З.	4	ПК-4	Л1.3 Л3.1
1.4	Преобразование дискретных сигналов. 1. Дискретное преобразование Фурье 2. Свертка дискретных сигналов	Лек.	2	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л2.1
1.5	Численные методы осуществления преобразования Фурье. Прямое Фурье-преобразование сигнала, амплитудный и фазовый спектры. Обратное Фурье преобразование.	П.З.	4	ПК-4	Л1.3 Л3.1
1.6	Z-преобразование сигналов и системных функций. Определение z-преобразования. Пространство z - полиномов. Аналитическая форма z-образов. Свойства z - преобразования.	Лек.	2	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л2.1
1.7	Погрешность квантования. Понятие кванта цифрового отсчета. Методы оценки погрешности квантования.	СР	8	ПК-4	Л1.1 Л2.1 Л3.1
1.8	Применение преобразования. Обратное z - преобразование.	СР	10	ПК-4	Л2.1 Л3.1
1.9	Связь Фурье-преобразования и z-преобразования последовательностей.	СР	10	ПК-4	Л1.1 Л2.1
1.10	Технические характеристики цифровых сигнальных процессоров. Методические ошибки алгоритма линейной интерполяции. Ошибки шага квантования. Точность вычисления тригонометрической функции и быстроедействие ЦСП.	СР	10	ПК-4	Л3.1

Модуль 2 – Фильтрация в цифровой области. Способы описания цифровых фильтров– (16+38=54)					
2.1	Цифровые фильтры на основе разностных уравнений и дискретной временной свертки 1. Цифровые фильтры: определение, классификация. 2. Разностное уравнение. Временная свертка 3. Передаточная функция, импульсная характеристика ЦФ.	Лек.	2	ПК-4	Л1.1 Л2.1 Л2.2
2.2	Нерекурсивные цифровые фильтры 1. Определение. Разностное уравнение. 2. Частотные характеристики 3. Структурная схема.	Лек.	3	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л2.1
2.3	Рекурсивные цифровые фильтры 1. Определение. Разностное уравнение. 2. Частотные характеристики. Устойчивость фильтров 3. Структурная схема.	Лек.	3	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л2.1
2.4	Исследование нерекурсивных цифровых фильтров 1-го и 2-го порядков. Исследование переходной характеристики.	П.З.	4	ПК-4	Л1.3 Л1.1 Л3.1
2.5	Исследование рекурсивных цифровых фильтров 1-го и 2-го порядков. Исследование переходной характеристики.	П.З.	4	ПК-4	Л1.3 Л3.1
2.6	Отображение нулей и полюсов цифрового фильтра на комплексной Z – плоскости. Взаимосвязь передаточной функции, разностного уравнения, переходной и импульсной характеристик. Связь между коэффициентами, нулями и полюсами для каскадной и параллельной форм реализации ЦФ.	СР	6	ПК-4	Л1.1 Л2.1
2.7	Линейная ФЧХ в КИХ-фильтрах. Симметричные и антисимметричные импульсные характеристики КИХ- фильтров.	СР	6	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л2.2
2.8	Искажения АЧХ при расчете КИХ- фильтров. Оконные функции.	СР	6	ПК-4	Л1.2 Л3.1
2.9	Синтез КИХ-фильтр методом частотной выборки. Согласованный фильтр и его реализация в цифровой области.	СР	6	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л1.3
2.10	Разработка фильтров с бесконечной импульсной характеристикой. 1. Разработка БИХ-фильтров из аналоговых фильтров. 2. Методы прямой разработки. 3. КИХ-фильтры в сравнении с БИХ-фильтрами.	СР	6	ПК-4	Л1.1 Л1.3 Л2.1
2.11	Метод билинейного преобразования при различных видах аппроксимации фильтров-прототипов; синтез передаточной функции ЦФ по аналоговому прототипу методом билинейного преобразования; исследование переходной и амплитудно-частотной характеристики фильтра.	СР	8	ПК-4	Л1.1 Л1.3 Л3.1
Итого -108 часов					

4.3 Заочная форма обучения, 5 лет (всего 108 часов, аудиторных 8 часов)

Код зан.	Тема и краткое содержание занятия	Вид зан.	Кол. часов	Компетенции	УМИО
1	2	3	4	5	6
Курс 4 , Семестр 7					
Модуль 1 – Цифровые сигналы. Общие сведения –(4+50 =54)					
1.1	Предмет и содержание дисциплины, ее место и роль в подготовке специалиста. 1. Порядок изучения дисциплины, рекомендуемая литература, формы контроля и отчетности, области применения цифровой обработки сигналов. 2. Классификация сигналов. 3. Структурная схема преобразования сигналов при цифровой обработке	Лек.	1	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л2.1
1.2	Дискретизированные сигналы. 1. Теорема Котельникова. Частота Найквиста. 2. Математические модели дискретных сигналов. Процедура дискретизации сигнала. 3. Структура спектра дискретизованного сигнала	Лек.	1	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л2.1
1.3	Исследование спектров ДПФ различных сигналов. Спектр периодического сигнала. Спектр прямоугольного импульса. Спектр суммы гармонических сигналов.	П.З.	2	ПК-4	Л1.3 Л3.1
1.4	Преобразование дискретных сигналов. 1. Дискретное преобразование Фурье 2. Свертка дискретных сигналов	СР	10	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л2.1
1.5	Численные методы осуществления преобразования Фурье. Прямое Фурье-преобразование сигнала, амплитудный и фазовый спектры. Обратное Фурье преобразование.	СР	10	ПК-4	Л1.3 Л3.1
1.6	Погрешность квантования. Понятие кванта цифрового отсчета. Методы оценки погрешности квантования.	СР	10	ПК-4	Л1.1 Л2.1 Л3.1
1.7	Z-преобразование сигналов и системных функций. Определение z-преобразования. Пространство z - полиномов. Аналитическая форма z -образов. Свойства z - преобразования. Применение z -преобразования. Обратное z - преобразование.	СР	10	ПК-4	Л2.1 Л3.1
1.8	Связь Фурье-преобразования и Z-преобразования последовательностей.	СР	14	ПК-4	Л1.1 Л2.1
Курс 4 , Семестр 7					
Модуль 2 – Фильтрация в цифровой области. Способы описания цифровых фильтров–(4+50=54)					
2.1	Цифровые фильтры на основе разностных уравнений и дискретной временной свертки 1. Цифровые фильтры: определение, классификация. 2. Разностное уравнение. Временная свертка 3. Передаточная функция, импульсная характеристика ЦФ.	Лек.	2	ПК-4	Л1.1 Л2.1 Л2.2
2.2	Исследование нерекурсивных и рекурсивных	П.З.	2	ПК-4	Л1.1

	цифровых фильтров 1-го и 2-го порядков.				Л1.2 Л2.1 Л3.1
2.3	Разработка фильтров с конечной импульсной характеристикой. 1. Алгоритм разработки фильтров. 2. Характеристики КИХ-фильтров с линейной фазой. 3. Использование окон.	СР	6	ПК-4	Л1.1 Л1.3 Л2.1
2.4	Проектирование цифрового КИХ- фильтра синтез КИХ-фильтра по алгоритму усреднения; синтез КИХ-фильтра методом весовых (оконных) функций; синтез КИХ-фильтра методом минимального среднего квадрата ошибки; исследование характеристик синтезированных фильтров.	СР	10	ПК-4	Л1.3 Л3.1
2.5	Рекурсивные цифровые фильтры 1. Определение. Разностное уравнение. 2. Частотные характеристики. Устойчивость фильтров 3. Структурная схема.	СР	6	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л3.1
2.6	Отображение нулей и полюсов цифрового фильтра на комплексной Z – плоскости. Взаимосвязь передаточной функции, разностного уравнения, переходной и импульсной характеристик. Связь между коэффициентами, нулями и полюсами для каскадной и параллельной форм реализации ЦФ.	СР	10	ПК-4	Л1.1 Л2.1
2.7	Линейная ФЧХ в КИХ-фильтрах. Симметричные и антисимметричные импульсные характеристики КИХ- фильтров.	СР	6	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л2.2
2.8	Искажения АЧХ при расчете КИХ- фильтров. Оконные функции.	СР	6	ПК-4	Л1.2 Л3.1
2.9	Синтез КИХ-фильтр методом частотной выборки. Согласованный фильтр и его реализация в цифровой области.	СР	6	ПК-4	Л1.1 Л1.2 Л1.3
Итого -108 часов					

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Рекомендуемая литература				
5.1.1. Основная литература				
Код	Авторы, со- ставители	Заглавие	Издательство, год	Кол.
Л1.1	Гадзиковский В.И..	Методы проектирования цифровых фильтров	М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 414с.	Э1
Л1.2	Попов О.Б.	Компьютерный практикум по цифровой обработке аудиосигналов: учебное пособие (Гриф УМО)	М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 176с.	Э2
Л1.3	Мартюшев Ю.Ю.	Практика функционального цифрового моделирования в радиотехнике: учебное пособие (Гриф УМО)	М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 188с.	Э3
5.1.2 Дополнительная литература				
Код	Авторы, со- ставители	Заглавие	Издательство, год	Кол.
Л2.1	Сергиенко А.Б.	Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов	СПб.: Питер, 2003	7
Л2.2	Солонина А.И, Улахович Д. А, Арбузов С. М.	Основы цифровой обработки сигналов: Учебное пособие	СПб.: БХВ Петербург, 2005	3
5.1.3 Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся				
Код	Авторы, со- ставители	Заглавие	Издательство, год	Кол.
Л3.1	Бородин А.В.	Методическое пособие по проведению практических занятий по дисциплине «Цифровая обработка сигналов»	СКФ МТУСИ: Ростов н/Д, 2019	Э4
5.2 Электронные образовательные ресурсы				
Э1	http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=560412			
Э2	http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=245479			
Э3	http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=333227			
Э4	http://www.skf-mtusi.ru/?page_id=659			
5.3 Программное обеспечение				
П.1	SMath Studio			
П.2	EXCEL			
П.3	DSP			
П.4	Advanced Grapher			

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

6.1 МТО лекционных занятий	
1	Лекционная аудитория, оснащенная проектором, ПК (ноутбуком), экраном.
6.2 МТО лабораторных работ и практических занятий	
1	Компьютеры
6.3 МТО рубежных контролей, зачетов, экзаменов	
1	Компьютерные аудитории с возможностью выхода в локальную сеть Филиала и Интернет.

7. Методические рекомендации для обучающихся по самостоятельной работе

Самостоятельная работа студентов является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, в том числе с использованием автоматизированных обучающих курсов (систем), а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, зачетам и экзаменам.

Постановку задачи обучаемым на проведение самостоятельной работы преподаватель осуществляет на одном из занятий, предшествующему данному.

Методику самостоятельной работы все обучаемые выбирают индивидуально.

Студентам очной формы обучения при освоении вопросов для самостоятельного изучения, представленных в подразделе 4.1, рекомендуется соблюдать последовательность их изучения, представленную в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Учебный материал, выносимый на самостоятельное изучение студентам очной формы обучения

№	Темы, разделы, вынесенные на самостоятельную подготовку, вопросы для подготовки к практическим и лабораторным занятиям; курсовые работы, содержание контрольных работ и др.	Часов всего: 76	Неделя
Модуль 1		38	1-8
1.	Погрешность квантования. Понятие кванта цифрового отсчета. Методы оценки погрешности квантования.	8	1-2
2.	Применение z-преобразования. Обратное z - преобразование.	10	3-4
3.	Связь Фурье-преобразования и z-преобразования последовательностей.	10	5-6
4.	Технические характеристики цифровых сигнальных процессоров. Методические ошибки алгоритма линейной интерполяции. Ошибки шага квантования. Точность вычисления тригонометрической функции и быстродействие ЦСП.	10	7-8

Модуль 2		50	9-16
1.	Отображение нулей и полюсов цифрового фильтра на комплексной Z – плоскости. Взаимосвязь передаточной функции, разностного уравнения, переходной и импульсной характеристик. Связь между коэффициентами, нулями и полюсами для каскадной и параллельной форм реализации ЦФ.	38	9-10
2.	Линейная ФЧХ в КИХ-фильтрах. Симметричные и антисимметричные импульсные характеристики КИХ-фильтров.	6	10-11
3.	Искажения АЧХ при расчете КИХ- фильтров. Оконные функции.	6	11-12
4.	Синтез КИХ-фильтр методом частотной выборки. Согласованный фильтр и его реализация в цифровой области.	6	13
5.	Разработка фильтров с бесконечной импульсной характеристикой. 1. Разработка БИХ-фильтров из аналоговых фильтров. 2. Методы прямой разработки. 3. КИХ-фильтры в сравнении с БИХ-фильтрами.	6	14
6.	Метод билинейного преобразования при различных видах аппроксимации фильтров-прототипов; синтез передаточной функции ЦФ по аналоговому прототипу методом билинейного преобразования; исследование переходной и амплитудно-частотной характеристики фильтра.	8	15-16

Таблица 3.2 – Учебный материал, выносимый на самостоятельное изучение студентам очно-заочной и заочной формы обучения

№	Темы, разделы, вынесенные на самостоятельную подготовку, вопросы для подготовки к практическим и лабораторным занятиям; курсовые работы, содержание контрольных работ и др.	Часы на изучение Всего часов 100
Модуль 1		
1.	Преобразование дискретных сигналов. Дискретное преобразование Фурье. Свертка дискретных сигналов. Численные методы осуществления преобразования Фурье. Прямое Фурье-преобразование сигнала, амплитудный и фазовый спектры. Обратное Фурье преобразование. Погрешность квантования. Понятие кванта цифрового отсчета. Методы оценки погрешности квантования. Z -преобразование сигналов и системных функций. Определение z -преобразования. Пространство z - полиномов. Аналитическая форма z -образов. Свойства z - преобразования. Связь Фурье-преобразования и z -преобразования последовательностей.	50

Модуль 2		
2.	Разработка фильтров с конечной импульсной характеристикой. Алгоритм разработки фильтров. Характеристики КИХ-фильтров с линейной фазой. Использование окон. Проектирование цифрового КИХ- фильтра; синтез КИХ-фильтра по алгоритму усреднения; синтез КИХ-фильтра методом весовых (оконных) функций; синтез КИХ-фильтра методом минимального среднего квадрата ошибки; исследование характеристик синтезированных фильтров. Рекурсивные цифровые фильтры Определение. Разностное уравнение. Частотные характеристики. Устойчивость фильтров. Структурная схема. Отображение нулей и полюсов цифрового фильтра на комплексной Z – плоскости. Взаимосвязь передаточной функции, разностного уравнения, переходной и импульсной характеристик. Связь между коэффициентами, нулями и полюсами для каскадной и параллельной форм реализации ЦФ. Линейная ФЧХ в КИХ-фильтрах. Симметричные и антисимметричные импульсные характеристики КИХ-фильтров. Искажения АЧХ при расчете КИХ- фильтров. Оконные функции. Синтез КИХ-фильтр методом частотной выборки. Согласованный фильтр и его реализация в цифровой области.	50

Дополнения и изменения в Рабочей программе