

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Цифровая обработка сигналов

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы
Сопряженная разработка программного и аппаратного обеспечения

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 Цифровая обработка сигналов относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-3: Способен создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе, с учетом возможностей современных информационных технологий и программирования и компьютерной техники	<p>ПК-3.1: Знает методы анализа и исследования математических моделей в области фундаментальной информатики и информационных технологий</p> <p>ПК-3.2: Умеет определять ключевые свойства и ограничения системы</p>	<p>ПК-3.1: Знать: ДПФ, БПФ, z-преобразование; теорему Котельникова; шум квантования; методы оценки корреляции случайных сигналов; основы программирования (массивы, циклы, библиотеки БПФ/фильтров)</p> <p>ПК-3.2: Уметь: применять z-преобразование; рассчитывать свёртку; проектировать КИХ/БИХ-фильтры; использовать БПФ для спектрального анализа; оценивать вычислительную сложность алгоритмов</p>	<p>Тест</p> <p>Опрос</p> <p>Кейс-задание</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0

- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	
Тема 1. Введение в цифровую обработку сигналов	10	2		2	8
Тема 2. Дискретные сигналы и системы	10	2		2	8
Тема 3. Z-преобразование	10	2		2	8
Тема 4. Дискретное преобразование Фурье	10	2		2	8
Тема 5. Оконные функции и спектральный анализ	10	2		2	8
Тема 6. Цифровые фильтры: общие понятия	10	2		2	8
Тема 7. Проектирование КИХ-фильтров	8	4		4	4
Тема 8. Проектирование БИХ-фильтров	8	4		4	4
Тема 9. Многоскоростная обработка сигналов	8	4		4	4
Тема 10. Адаптивные фильтры	9	4		4	5
Тема 11. Применение ЦОС в телекоммуникациях	7	2		2	5
Тема 12. Реализация алгоритмов ЦОС	7	2		2	5
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	32	0	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение в цифровую обработку сигналов

1.1. Предмет и задачи цифровой обработки сигналов (ЦОС)

1.2. Преимущества цифровой обработки по сравнению с аналоговой

1.3. Области применения ЦОС: телекоммуникации, радиолокация, медицина, аудио, видео

- 1.4. Типичная структура системы ЦОС: АЦП, процессор, ЦАП
- 1.5. Аналоговые и дискретные сигналы: основные различия
- 1.6. Дискретизация непрерывных сигналов во времени
- 1.7. Теорема Котельникова-Найквиста: условия восстановления сигнала
- 1.8. Алиасинг (наложение спектров): причины и методы предотвращения
- 1.9. Антиалиасинговые фильтры
- 1.10. Квантование по уровню: равномерное и неравномерное
- 1.11. Шум квантования: модель, характеристики, отношение сигнал/шум квантования
- 1.12. Передискретизация (oversampling) и её преимущества

2. Дискретные сигналы и системы

- 2.1. Дискретные сигналы: представление и классификация
- 2.2. Элементарные дискретные сигналы: единичный импульс $\delta[n]$, единичный скачок $u[n]$
- 2.3. Экспоненциальные и синусоидальные дискретные последовательности
- 2.4. Периодичность дискретных синусоид
- 2.5. Энергия и мощность дискретных сигналов
- 2.6. Операции над дискретными сигналами: сдвиг, масштабирование, реверс
- 2.7. Дискретные системы: определение и классификация
- 2.8. Линейность и принцип суперпозиции
- 2.9. Инвариантность во времени (стационарность)
- 2.10. Причинность и устойчивость систем
- 2.11. Импульсная характеристика $h[n]$ линейной системы
- 2.12. Свёртка дискретных последовательностей: определение и свойства
- 2.13. Вычисление выхода системы через свёртку
- 2.14. Линейные разностные уравнения с постоянными коэффициентами
- 2.15. Рекурсивные и нерекурсивные системы

3. Z-преобразование

- 3.1. Определение Z-преобразования: прямое и обратное
- 3.2. Область сходимости (ROC): значение для анализа систем
- 3.3. Связь между областью сходимости и свойствами сигнала
- 3.4. Свойства Z-преобразования: линейность, сдвиг во времени
- 3.5. Масштабирование в z-области, дифференцирование в z-области
- 3.6. Свёртка во временной области и умножение в z-области
- 3.7. Начальная и конечная теоремы
- 3.8. Z-преобразование элементарных последовательностей
- 3.9. Обратное Z-преобразование: метод разложения на простые дроби
- 3.10. Метод степенных рядов и метод вычетов
- 3.11. Передаточная функция $H(z)$ дискретной системы
- 3.12. Полюса и нули передаточной функции
- 3.13. Связь расположения полюсов и нулей с характеристиками системы
- 3.14. Условия устойчивости: расположение полюсов внутри единичного круга
- 3.15. Частотная характеристика из передаточной функции: $H(e^{j\omega})$

4. Дискретное преобразование Фурье

- 4.1. Дискретное преобразование Фурье последовательности (DTFT)
- 4.2. Свойства DTFT: периодичность, симметрия
- 4.3. Связь DTFT с Z-преобразованием
- 4.4. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ): определение
- 4.5. Связь ДПФ с рядом Фурье и DTFT

- 4.6. Свойства ДПФ: линейность, циклический сдвиг, симметрия
- 4.7. Циклическая свёртка и её связь с линейной свёрткой
- 4.8. Теорема о циклической свёртке
- 4.9. Применение ДПФ для вычисления линейной свёртки
- 4.10. Быстрое преобразование Фурье (БПФ): мотивация
- 4.11. Алгоритм БПФ с прореживанием по времени (decimation-in-time)
- 4.12. Алгоритм БПФ с прореживанием по частоте (decimation-in-frequency)
- 4.13. Граф потока сигналов алгоритма БПФ
- 4.14. Вычислительная сложность: сравнение ДПФ и БПФ
- 4.15. Обратное БПФ (IFFT)
- 4.16. Применение БПФ в спектральном анализе
- 4.17. Утечка спектра (spectral leakage) и оконные функции
- 4.18. Разрешение по частоте и методы его улучшения

5. Оконные функции и спектральный анализ
- 5.1. Проблема утечки спектра при конечной длине записи
- 5.2. Прямоугольное окно: характеристики и ограничения
- 5.3. Окно Хэмминга: снижение боковых лепестков
- 5.4. Окно Ханнинга (Hann window)
- 5.5. Окно Блэкмана и окно Блэкмана-Харриса
- 5.6. Окно Кайзера: управляемые параметры
- 5.7. Сравнение оконных функций: ширина главного лепестка, уровень боковых лепестков
- 5.8. Выбор окна для различных приложений
- 5.9. Кратковременное преобразование Фурье (STFT)
- 5.10. Спектрограмма: визуализация нестационарных сигналов
- 5.11. Компромисс между временным и частотным разрешением
- 5.12. Периодограмма: оценка спектральной плотности мощности
- 5.13. Модифицированная периодограмма с окнами
- 5.14. Метод Уэлча: усреднение периодограмм
- 5.15. Параметрические методы спектрального анализа: AR, MA, ARMA модели

6. Цифровые фильтры: общие понятия
- 6.1. Назначение и классификация цифровых фильтров
- 6.2. КИХ-фильтры (FIR): конечная импульсная характеристика
- 6.3. БИХ-фильтры (IIR): бесконечная импульсная характеристика
- 6.4. Сравнение КИХ и БИХ фильтров: преимущества и недостатки
- 6.5. Частотная характеристика фильтра: АЧХ и ФЧХ
- 6.6. Идеальные фильтры: ФНЧ, ФВЧ, полосовой, режекторный
- 6.7. Физическая нереализуемость идеальных фильтров
- 6.8. Линейная фазовая характеристика: значение для обработки сигналов
- 6.9. Групповая задержка
- 6.10. Структурные схемы реализации фильтров: прямая форма I и II
- 6.11. Каскадная форма и параллельная форма
- 6.12. Конечная точность представления коэффициентов и эффекты квантования

7. Проектирование КИХ-фильтров
- 7.1. Основные характеристики КИХ-фильтров
- 7.2. Условия линейности фазы: симметрия импульсной характеристики
- 7.3. Типы линейно-фазовых КИХ-фильтров (I, II, III, IV)
- 7.4. Метод окон для проектирования КИХ-фильтров

- 7.5. Выбор типа окна и длины фильтра
- 7.6. Метод частотной выборки (frequency sampling)
- 7.7. Оптимальное проектирование: метод наименьших квадратов
- 7.8. Алгоритм Паркса-МакКлеллана: равноволновая аппроксимация (equiripple)
- 7.9. Алгоритм Ремеза (Remez exchange algorithm)
- 7.10. Проектирование дифференциаторов и преобразователей Гильберта
- 7.11. Структуры реализации КИХ-фильтров: прямая форма, транспонированная форма
- 7.12. Быстрая свёртка с использованием БПФ (overlap-add, overlap-save)

8. Проектирование БИХ-фильтров

- 8.1. Особенности БИХ-фильтров: рекурсивная структура
- 8.2. Проблема нелинейности фазы в БИХ-фильтрах
- 8.3. Аналоговые прототипы: Баттерворта, Чебышева I и II рода, эллиптические (Кауэра)
- 8.4. Характеристики аналоговых фильтров: максимально плоская АЧХ, равноволновая АЧХ
- 8.5. Методы преобразования аналоговых фильтров в цифровые
- 8.6. Метод инвариантности импульсной характеристики
- 8.7. Билинейное преобразование: отображение s -плоскости в z -плоскость
- 8.8. Предыскажение частоты (frequency warping) в билинейном преобразовании
- 8.9. Проектирование цифровых ФНЧ, ФВЧ, полосовых и режекторных фильтров
- 8.10. Частотные преобразования для изменения типа фильтра
- 8.11. Структуры реализации БИХ-фильтров: прямые формы I и II
- 8.12. Каскадная реализация: биквадратные секции
- 8.13. Анализ устойчивости БИХ-фильтров
- 8.14. Пределные циклы и эффекты конечной разрядности

9. Многоскоростная обработка сигналов

- 9.1. Основные понятия многоскоростной обработки
- 9.2. Децимация: уменьшение частоты дискретизации
- 9.3. Спектральное представление при децимации
- 9.4. Антиалиасинговая фильтрация перед децимацией
- 9.5. Интерполяция: увеличение частоты дискретизации
- 9.6. Интерполяционный фильтр: подавление зеркальных компонент
- 9.7. Изменение частоты дискретизации на рациональный коэффициент L/M
- 9.8. Полифазная реализация фильтров: снижение вычислительной сложности
- 9.9. Полифазное разложение для децимации и интерполяции
- 9.10. Банки фильтров: анализ и синтез
- 9.11. Условия совершенной реконструкции
- 9.12. Квадратурные зеркальные фильтры (QMF)
- 9.13. Применения многоскоростной обработки: сжатие аудио, субполосное кодирование
- 9.14. Дискретное вейвлет-преобразование как банк фильтров

10. Адаптивные фильтры

- 10.1. Концепция адаптивной фильтрации
- 10.2. Структура адаптивного фильтра: входной сигнал, желаемый сигнал, ошибка
- 10.3. Задача адаптивной фильтрации: минимизация среднеквадратичной ошибки
- 10.4. Винеровский фильтр: оптимальное решение
- 10.5. Нормальные уравнения Винера-Хопфа
- 10.6. Поверхность ошибки и градиентный спуск
- 10.7. Алгоритм наименьших средних квадратов (LMS)
- 10.8. Выбор размера шага в алгоритме LMS: компромисс между скоростью и точностью

- 10.9. Сходимость алгоритма LMS
- 10.10. Нормализованный LMS алгоритм (NLMS)
- 10.11. Рекурсивный метод наименьших квадратов (RLS)
- 10.12. Сравнение LMS и RLS: скорость сходимости, вычислительная сложность
- 10.13. Применения адаптивных фильтров: подавление помех, эхоподавление
- 10.14. Адаптивная линейная предсказание (linear prediction)
- 10.15. Идентификация систем и моделирование каналов
- 10.16. Адаптивная эквалализация в системах связи

11. Применение ЦОС в телекоммуникациях

- 11.1. Цифровые модемы: структура и обработка сигналов
- 11.2. Формирование импульсов: критерий Найквиста для отсутствия межсимвольной интерференции
- 11.3. Raised-cosine фильтры и root-raised-cosine фильтры
- 11.4. Согласованная фильтрация: оптимизация отношения сигнал/шум
- 11.5. Синхронизация символов: алгоритмы Гарднера, Мюллера-Мюллера
- 11.6. Синхронизация несущей: алгоритм Костаса, PLL
- 11.7. Цифровая эквалализация каналов связи
- 11.8. Адаптивная эквалализация: LMS и RLS эквалайзеры
- 11.9. Эквалайзеры с решающей обратной связью (DFE)
- 11.10. OFDM (ортогональное частотное мультиплексирование): принципы
- 11.11. Реализация OFDM с помощью БПФ/ОБПФ
- 11.12. Циклический префикс: борьба с межсимвольной интерференцией
- 11.13. Оценка канала в OFDM: пилот-сигналы
- 11.14. ЦОС в программно-определяемом радио (SDR)

12. Реализация алгоритмов ЦОС

- 12.1. Архитектуры для ЦОС: универсальные процессоры, DSP, FPGA, ASIC
- 12.2. Цифровые сигнальные процессоры (DSP): особенности архитектуры
- 12.3. Аппаратные ускорители: MAC-блоки, конвейерная обработка
- 12.4. FPGA для ЦОС: параллелизм и реконфигурируемость
- 12.5. Эффекты конечной разрядности: квантование коэффициентов
- 12.6. Ошибки округления в арифметических операциях
- 12.7. Шум квантования в фильтрах
- 12.8. Переполнение и насыщение
- 12.9. Арифметика с фиксированной точкой
- 12.10. Масштабирование для предотвращения переполнения
- 12.11. Оптимизация алгоритмов: снижение вычислительной сложности
- 12.12. Программирование DSP: языки C, ассемблер DSP
- 12.13. Использование библиотек ЦОС: MATLAB, Python (NumPy, SciPy)

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- повторение пройденного учебного материала, чтение рекомендованной литературы;

- подготовку к практическим занятиям;
- выполнение общих и индивидуальных домашних заданий;
- работу с электронными источниками;
- подготовку к сдаче формы промежуточной аттестации.

Цель самостоятельной работы - формирование навыков непрерывного самообразования и профессионального совершенствования.

Самостоятельная работа способствует формированию аналитического и творческого мышления, совершенствует способы организации исследовательской деятельности, воспитывает целеустремленность, системность и последовательность в работе студентов, развивает у них навык завершать начатую работу.

Основные виды самостоятельной работы студентов:

- работа с основной и дополнительной литературой;
- изучение категориального аппарата дисциплины;
- самостоятельное изучение тем дисциплины;
- подготовка к зачёту;
- работа в библиотеке;
- изучение сайтов по темам дисциплины в сети Интернет.

Работа с основной и дополнительной литературой

Изучение рекомендованной литературы следует начинать с учебников и учебных пособий, затем переходить к научным монографиям и материалам периодических изданий. Работа с литературой предусматривает конспектирование наиболее актуальных и познавательных материалов. Это не только мобилизует внимание, но и способствует более глубокому осмыслению материала, его лучшему запоминанию, а также позволяет студентам проводить систематизацию и сравнительный анализ изучаемой информации. Таким образом, конспектирование – одна из основных форм самостоятельного труда, которая требует от студента активно работать с учебной литературой и не ограничиваться конспектом лекций. Студент должен уметь самостоятельно подбирать необходимую литературу для учебной и научной работы, уметь обращаться с предметными каталогами и библиографическим справочником библиотеки.

Изучение категориального аппарата дисциплины

Изучение и осмысление экономических категорий требует проработки лекционного материала, выполнения практических заданий, изучение словарей, энциклопедий, справочников.

Индивидуальная самостоятельная работа студента направлена на овладение и грамотное применение экономической терминологии в области компьютерного моделирования.

Самостоятельное изучение тем дисциплины

Особое место отводится самостоятельной проработке студентами отдельных разделов и тем изучаемой дисциплины. Такой подход вырабатывает у студентов инициативу, стремление к увеличению объема знаний, умений и навыков, всестороннего овладения способами и приемами профессиональной деятельности.

Изучение вопросов определенной темы направлено на более глубокое усвоение основных категорий экономической теории, понимание экономических процессов, происходящих в обществе, совершенствование навыка анализа теоретического и эмпирического материала.

Подготовка к зачёту

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине проходит в виде зачёта. Условием успешного прохождения промежуточной аттестации является систематическая работа студента в течение семестра. В этом случае подготовка к зачёту является систематизацией всех

полученных знаний по данной дисциплине.

Рекомендуется внимательно изучить перечень вопросов к зачёту также использовать в процессе обучения программу, учебно-методический комплекс, другие методические материалы.

Желательно спланировать троекратный просмотр материала перед зачётом. Во-первых, внимательное чтение с осмыслением, подчеркиванием и составлением краткого плана ответа. Во-вторых, повторная проработка наиболее сложных вопросов. В-третьих, быстрый просмотр материала или планов ответов для его систематизации в памяти.

Изучение сайтов по темам дисциплины в сети Интернет

Ресурсы Интернет являются одним из альтернативных источников быстрого поиска требуемой информации. Их использование возможно для получения основных и дополнительных сведений по изучаемым материалам. Необходимо помнить об оформлении ссылок на Интернет-источники.

Для повышения эффективности самостоятельной работы студентов преподавателю целесообразно использовать следующие виды деятельности:

- консультации,
- выдача заданий на самостоятельную работу,
- информационное обеспечение обучения,
- контроль качества самостоятельной работы студентов.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Пример 1. Какое преобразование является дискретным аналогом преобразования Лапласа?

А) ДПФ Б) Z-преобразование В) БПФ Г) Свёртка

Пример 2. Сформулируйте теорему Котельникова (Найквиста).

Пример 3. Напишите формулу дискретного преобразования Фурье (ДПФ) для последовательности $x[n]$, $n = 0 \dots N-1$.

Пример 4. Установите соответствие между математическим аппаратом и его применением в ЦОС:

Математический аппарат

Применение в ЦОС

Z-преобразование

1. Спектральный анализ дискретных сигналов

ДПФ

2. Анализ устойчивости цифрового фильтра

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	96-100% правильных ответов
отлично	81-95% правильных ответов
очень хорошо	76-80% правильных ответов
хорошо	61-75% правильных ответов
удовлетворительно	46-60% правильных ответов
неудовлетворительно	31-45% правильных ответов
плохо	30% и меньше правильных ответов

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Опрос) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Объясните физический смысл явления наложения спектров (aliasing) при недостаточной частоте дискретизации. Приведите пример.
2. Что такое шум квантования и как его мощность зависит от разрядности АЦП?
3. Перечислите достоинства и недостатки БПФ по сравнению с прямым вычислением ДПФ.
4. Запишите разностное уравнение КИХ-фильтра второго порядка. Что означает термин «конечная импульсная характеристика»?
5. Поясните, как связаны полюса передаточной функции $H(z)$ и устойчивость цифрового фильтра.

Критерии оценивания (оценочное средство - Опрос)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	изложение материала логично, грамотно, без ошибок; свободное владение профессиональной терминологией; умение высказывать и обосновать свои суждения; знание дополнительного материала, студент дает четкий, полный, правильный ответ на теоретические вопросы; теория связана с практикой
отлично	изложение материала логично, грамотно, без ошибок; свободное владение профессиональной терминологией; умение высказывать и обосновать свои суждения; студент дает четкий, полный, правильный ответ на теоретические вопросы; теория связана с практикой
очень хорошо	студент грамотно излагает материал; ориентируется в материале, владеет

Оценка	Критерии оценивания
	профессиональной терминологией, осознанно применяет теоретические знания для выполнения задания, содержание и форма ответа имеют незначительные погрешности; ответ правильный, полный, с незначительными неточностями
хорошо	студент грамотно излагает материал; ориентируется в материале, владеет профессиональной терминологией, осознанно применяет теоретические знания для выполнения задания, но содержание и форма ответа имеют отдельные неточности; ответ правильный, недостаточно полный
удовлетворительно	студент излагает материал неполно, непоследовательно, допускает неточности в определении понятий, в применении знаний для выполнения задания, не может доказательно обосновать свои суждения; обнаруживается недостаточно глубокое понимание изученного материала.
неудовлетворительно	отсутствуют необходимые теоретические знания; допущены ошибки в определении понятий, искажен их смысл, в ответе студента проявляется незнание основного материала учебной программы, допускаются грубые ошибки в изложении, не может применять знания для выполнения задания
плохо	необходима дополнительная подготовка для выполнения задания

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Кейс-задание) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Кейс 1. У вас есть устройство с ограниченной вычислительной мощностью (микроконтроллер без FPU). Необходимо реализовать спектральный анализ в реальном времени. Частота дискретизации 2000 Гц, требуется разрешение по частоте не хуже 5 Гц. Предложите параметры БПФ (N, тип данных, алгоритм) и обоснуйте выбор с точки зрения ограничений.

Кейс 2. При спектральном анализе с помощью БПФ вы заметили, что на спектре появились «несуществующие» частоты между реальными пиками.

— В чём причина явления?

— Предложите два способа подавления этого эффекта без увеличения времени записи сигнала.

Кейс 3. Разрабатывается цифровой режекторный фильтр для подавления сетевой наводки 50 Гц. Частота дискретизации 1000 Гц.

— Выберите структуру (КИХ или БИХ) и обоснуйте.

— Рассчитайте простейший фильтр (например, фильтр-«заглушка» с парой нулей на единичной окружности).

Критерии оценивания (оценочное средство - Кейс-задание)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Задание выполнено в полном объеме (все поставленные задачи решены), ответ логичен и обоснован, обучающийся отвечает четко и последовательно,

Оценка	Критерии оценивания
	показывает глубокое знание основного и дополнительного материала
отлично	Задание выполнено в полном объеме (все поставленные задачи решены), ответ логичен и обоснован, обучающийся отвечает четко и последовательно, показывает глубокое знание основного материала
очень хорошо	Задание выполнено в полном объеме (все поставленные задачи решены), ответ логичен и обоснован, обучающийся отвечает четко и последовательно, показывает глубокое знание материала, допущено не более 2 неточностей не принципиального характера
хорошо	Задание выполнено в полном объеме (все поставленные задачи решены), ответ логичен и обоснован, допущены неточности не принципиального характера, но обучающийся показывает систему знаний по теме своими ответами на поставленные вопросы
удовлетворительно	Задание выполнено не в полном объеме (решено более 50% поставленных задач), но обучающийся допускает ошибки, нарушена последовательность ответа, но в целом раскрывает содержание основного материала
неудовлетворительно	Задание выполнено не в полном объеме (решено менее 50% поставленных задач), обучающийся дает неверную информацию при ответе на поставленные задачи, допускает грубые ошибки при толковании материала, демонстрирует незнание основных терминов и понятий.
плохо	Задание не выполнено, обучающийся демонстрирует полное незнание материала

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
		не зачтено		зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовк	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	вследствие отказа обучающегося от ответа		негрубых ошибок	. Допущено несколько негрубых ошибок	. Допущено несколько несущественных ошибок	и. Ошибок нет.	
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Предмет и задачи цифровой обработки сигналов (ЦОС)
2. Преимущества цифровой обработки по сравнению с аналоговой
3. Области применения ЦОС: телекоммуникации, радиолокация, медицина, аудио, видео
4. Типичная структура системы ЦОС: АЦП, процессор, ЦАП
5. Аналоговые и дискретные сигналы: основные различия
6. Дискретизация непрерывных сигналов во времени
7. Теорема Котельникова-Найквиста: условия восстановления сигнала
8. Алиасинг (наложение спектров): причины и методы предотвращения
9. Антиалиасинговые фильтры
10. Квантование по уровню: равномерное и неравномерное
11. Шум квантования: модель, характеристики, отношение сигнал/шум квантования
12. Передискретизация (oversampling) и её преимущества
13. Дискретные сигналы: представление и классификация
14. Элементарные дискретные сигналы: единичный импульс $\delta[n]$, единичный скачок $u[n]$
15. Экспоненциальные и синусоидальные дискретные последовательности
16. Периодичность дискретных синусоид
17. Энергия и мощность дискретных сигналов
18. Операции над дискретными сигналами: сдвиг, масштабирование, реверс
19. Дискретные системы: определение и классификация
20. Линейность и принцип суперпозиции
21. Инвариантность во времени (стационарность)
22. Причинность и устойчивость систем
23. Импульсная характеристика $h[n]$ линейной системы
24. Свёртка дискретных последовательностей: определение и свойства
25. Вычисление выхода системы через свёртку
26. Линейные разностные уравнения с постоянными коэффициентами
27. Рекурсивные и нерекурсивные системы
28. Определение Z-преобразования: прямое и обратное
29. Область сходимости (ROC): значение для анализа систем
30. Связь между областью сходимости и свойствами сигнала
31. Свойства Z-преобразования: линейность, сдвиг во времени
32. Масштабирование в z-области, дифференцирование в z-области
33. Свёртка во временной области и умножение в z-области
34. Начальная и конечная теоремы
35. Z-преобразование элементарных последовательностей

36. Обратное Z-преобразование: метод разложения на простые дроби
37. Метод степенных рядов и метод вычетов
38. Передаточная функция $H(z)$ дискретной системы
39. Полюса и нули передаточной функции
40. Связь расположения полюсов и нулей с характеристиками системы
41. Условия устойчивости: расположение полюсов внутри единичного круга
42. Частотная характеристика из передаточной функции: $H(e^{j\omega})$
43. Дискретное преобразование Фурье последовательности (DTFT)
44. Свойства DTFT: периодичность, симметрия
45. Связь DTFT с Z-преобразованием
46. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ): определение
47. Связь ДПФ с рядом Фурье и DTFT
48. Свойства ДПФ: линейность, циклический сдвиг, симметрия
49. Циклическая свёртка и её связь с линейной свёрткой
50. Теорема о циклической свёртке
51. Применение ДПФ для вычисления линейной свёртки
52. Быстрое преобразование Фурье (БПФ): мотивация
53. Алгоритм БПФ с прореживанием по времени (decimation-in-time)
54. Алгоритм БПФ с прореживанием по частоте (decimation-in-frequency)
55. Граф потока сигналов алгоритма БПФ
56. Вычислительная сложность: сравнение ДПФ и БПФ
57. Обратное БПФ (IFFT)
58. Применение БПФ в спектральном анализе
59. Утечка спектра (spectral leakage) и оконные функции
60. Разрешение по частоте и методы его улучшения
61. Проблема утечки спектра при конечной длине записи
62. Прямоугольное окно: характеристики и ограничения
63. Окно Хэмминга: снижение боковых лепестков
64. Окно Ханнинга (Hann window)
65. Окно Блэкмана и окно Блэкмана-Харриса
66. Окно Кайзера: управляемые параметры
67. Сравнение оконных функций: ширина главного лепестка, уровень боковых лепестков
68. Выбор окна для различных приложений
69. Кратковременное преобразование Фурье (STFT)
70. Спектрограмма: визуализация нестационарных сигналов
71. Компромисс между временным и частотным разрешением
72. Периодограмма: оценка спектральной плотности мощности
73. Модифицированная периодограмма с окнами
74. Метод Уэлча: усреднение периодограмм
75. Параметрические методы спектрального анализа: AR, MA, ARMA модели
76. Назначение и классификация цифровых фильтров
77. КИХ-фильтры (FIR): конечная импульсная характеристика
78. БИХ-фильтры (IIR): бесконечная импульсная характеристика
79. Сравнение КИХ и БИХ фильтров: преимущества и недостатки
80. Частотная характеристика фильтра: АЧХ и ФЧХ

81. Идеальные фильтры: ФНЧ, ФВЧ, полосовой, режекторный
82. Физическая нереализуемость идеальных фильтров
83. Линейная фазовая характеристика: значение для обработки сигналов
84. Групповая задержка
85. Структурные схемы реализации фильтров: прямая форма I и II
86. Каскадная форма и параллельная форма
87. Конечная точность представления коэффициентов и эффекты квантования
88. Основные характеристики КИХ-фильтров
89. Условия линейности фазы: симметрия импульсной характеристики
90. Типы линейно-фазовых КИХ-фильтров (I, II, III, IV)
91. Метод окон для проектирования КИХ-фильтров
92. Выбор типа окна и длины фильтра
93. Метод частотной выборки (frequency sampling)
94. Оптимальное проектирование: метод наименьших квадратов
95. Алгоритм Паркса-МакКлеллана: равноволновая аппроксимация (equiripple)
96. Алгоритм Ремеза (Remez exchange algorithm)
97. Проектирование дифференциаторов и преобразователей Гильберта
98. Структуры реализации КИХ-фильтров: прямая форма, транспонированная форма
99. Быстрая свёртка с использованием БПФ (overlap-add, overlap-save)
100. Особенности БИХ-фильтров: рекурсивная структура
101. Проблема нелинейности фазы в БИХ-фильтрах
102. Аналоговые прототипы: Баттерворта, Чебышева I и II рода, эллиптические (Кауэра)
103. Характеристики аналоговых фильтров: максимально плоская АЧХ, равноволновая АЧХ
104. Методы преобразования аналоговых фильтров в цифровые
105. Метод инвариантности импульсной характеристики
106. Билинейное преобразование: отображение s-плоскости в z-плоскость
107. Предыскажение частоты (frequency warping) в билинейном преобразовании
108. Проектирование цифровых ФНЧ, ФВЧ, полосовых и режекторных фильтров
109. Частотные преобразования для изменения типа фильтра
110. Структуры реализации БИХ-фильтров: прямые формы I и II
111. Каскадная реализация: биквадратные секции
112. Анализ устойчивости БИХ-фильтров
113. Предельные циклы и эффекты конечной разрядности
114. Основные понятия многоскоростной обработки
115. Децимация: уменьшение частоты дискретизации
116. Спектральное представление при децимации
117. Антиалиасинговая фильтрация перед децимацией
118. Интерполяция: увеличение частоты дискретизации
119. Интерполяционный фильтр: подавление зеркальных компонент
120. Изменение частоты дискретизации на рациональный коэффициент L/M

121. Полифазная реализация фильтров: снижение вычислительной сложности
122. Полифазное разложение для децимации и интерполяции
123. Банки фильтров: анализ и синтез
124. Условия совершенной реконструкции
125. Квадратурные зеркальные фильтры (QMF)
126. Применения многоскоростной обработки: сжатие аудио, субполосное кодирование
127. Дискретное вейвлет-преобразование как банк фильтров
128. Концепция адаптивной фильтрации
129. Структура адаптивного фильтра: входной сигнал, желаемый сигнал, ошибка
130. Задача адаптивной фильтрации: минимизация среднеквадратичной ошибки
131. Винеровский фильтр: оптимальное решение
132. Нормальные уравнения Винера-Хопфа
133. Поверхность ошибки и градиентный спуск
134. Алгоритм наименьших средних квадратов (LMS)
135. Выбор размера шага в алгоритме LMS: компромисс между скоростью и точностью
136. Сходимость алгоритма LMS
137. Нормализованный LMS алгоритм (NLMS)
138. Рекурсивный метод наименьших квадратов (RLS)
139. Сравнение LMS и RLS: скорость сходимости, вычислительная сложность
140. Применения адаптивных фильтров: подавление помех, эхоподавление
141. Адаптивная линейная предсказание (linear prediction)
142. Идентификация систем и моделирование каналов
143. Адаптивная эквалаизация в системах связи
144. Цифровые модемы: структура и обработка сигналов
145. Формирование импульсов: критерий Найквиста для отсутствия межсимвольной интерференции
146. Raised-cosine фильтры и root-raised-cosine фильтры
147. Согласованная фильтрация: оптимизация отношения сигнал/шум
148. Синхронизация символов: алгоритмы Гарднера, Мюллера-Мюллера
149. Синхронизация несущей: алгоритм Костаса, PLL
150. Цифровая эквалаизация каналов связи
151. Адаптивная эквалаизация: LMS и RLS эквалайзеры
152. Эквалайзеры с решающей обратной связью (DFE)
153. OFDM (ортогональное частотное мультиплексирование): принципы
154. Реализация OFDM с помощью БПФ/ОБПФ
155. Циклический префикс: борьба с межсимвольной интерференцией
156. Оценка канала в OFDM: пилот-сигналы
157. ЦОС в программно-определяемом радио (SDR)
158. Архитектуры для ЦОС: универсальные процессоры, DSP, FPGA, ASIC
159. Цифровые сигнальные процессоры (DSP): особенности архитектуры
160. Аппаратные ускорители: MAC-блоки, конвейерная обработка
161. FPGA для ЦОС: параллелизм и реконфигурируемость

- 162. Эффекты конечной разрядности: квантование коэффициентов
- 163. Ошибки округления в арифметических операциях
- 164. Шум квантования в фильтрах
- 165. Переполнение и насыщение
- 166. Арифметика с фиксированной точкой
- 167. Масштабирование для предотвращения переполнения
- 168. Оптимизация алгоритмов: снижение вычислительной сложности
- 169. Программирование DSP: языки C, ассемблер DSP
- 170. Использование библиотек ЦОС: MATLAB, Python (NumPy, SciPy)

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	вся компетенция (части компетенции), на формирование которой направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно»
не зачтено	хотя бы одна часть компетенции сформирована на уровне «неудовлетворительно»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Белов Леонид Алексеевич. Радиоэлектроника. Формирование стабильных частот и сигналов : учебник для вузов / Л. А. Белов. - 3-е изд. - Москва : Юрайт, 2026. - 268 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/586025> (дата обращения: 24.01.2026). - ISBN 978-5-534-14694-3 : 1379.00. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=998944&idb=0>.
2. Вадутов Олег Самигулович. Электроника. Математические основы обработки сигналов : учебник и практикум для вузов / О. С. Вадутов. - Москва : Юрайт, 2024. - 307 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/537281> (дата обращения: 15.08.2024). - ISBN 978-5-9916-6551-3 : 1339.00. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=905317&idb=0>.
3. Вильчинский В. Р. Цифровая обработка сигналов. Альтернативные методы : учебное пособие для вузов / Вильчинский В. Р. - Санкт-Петербург : Лань, 2025. - 56 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-507-51534-9. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=931150&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Цифровая обработка сигналов : Методические указания. Ч. 2. Цифровая обработка сигналов. Часть 2 / Стариковский А. И., Солдатов Е. В., Милорадов Г. А., Авдеев К. В. - Москва : РТУ МИРЭА, 2023. - 73 с. - Книга из коллекции РТУ МИРЭА - Инженерно-технические науки. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=865355&idb=0>.
2. Строгонов А. В. Цифровая обработка сигналов в базисе программируемых логических

интегральных схем : учебное пособие для вузов / Строгонов А. В. - 5-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2025. - 312 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-507-54169-0. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=1002622&idb=0>.

3. Козлов И. М. Цифровая обработка сигналов. Конспект лекций / Козлов И. М. - Новосибирск : НГТУ, 2023. - 132 с. - Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия. - Книга из коллекции НГТУ - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-7782-4969-1. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=896777&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Операционная система Microsoft Windows
2. Пакет прикладных программ Microsoft Office
3. Правовая система «Консультант плюс»
4. Правовая система «Гарант».
5. Интернет браузеры (Mozilla Firefox, Google Chrome)

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.