

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

Радиофизический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол от

«14» декабря 2021 г. № 4

Рабочая программа дисциплины

Цифровая обработка сигналов

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Специалитет

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

11.05.02 - Специальные радиотехнические системы

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Прием, анализ и обработка сигналов системами специального назначения

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2022 год

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Данная дисциплина относится к вариативной части ОПОП и является дисциплиной по выбору для освоения в 8 семестре 4 года обучения.

Целями освоения дисциплины являются:

- изучение теории дискретных сигналов и дискретных линейных систем, методов проектирования и расчета цифровых фильтров;
- освоение методов обработки сигналов с помощью цифровых вычислительных устройств, включая цифровые фильтрацию и спектральный анализ

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	
ОПК-11: Способен применять положения теории в области электрических цепей, радиотехнических сигналов, распространения радиоволн, кодирования, электрической связи, цифровой обработки сигналов для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-11.1: Знает: - дискретные и цифровые сигналы и системы, способы их представления и описания; - основные методы анализа дискретных сигналов и систем; - методы проектирования цифровых фильтров; - приложения теории цифровой обработки сигналов в задачах приема, передачи и преобразования сообщений.	Знать: - способы представления и описания дискретных линейных систем с постоянными параметрами и их характеристик во временной и частотной областях; - основные структурные схемы, используемые при построении БИХ- и КИХ-фильтров; - основные способы расчёта БИХ и КИХ-фильтров; - примеры применения методов цифровой обработки сигналов в задачах приема, передачи и преобразования сообщений.	контрольные вопросы, тестирование
	ОПК-11.2: Умеет: - применять методы цифрового представления сигналов и систем обработки; - использовать типовые пакеты прикладных программ для анализа и синтеза систем цифровой обработки сигналов.	Уметь: - выбрать оптимальную частоту дискретизации сигналов, вычислять спектр дискретных сигналов с помощью дискретного преобразования Фурье; - вычислять частотные характеристики цифровых фильтров, используя разностное уравнение или импульсную характеристику; - использовать современное программное обеспечение для вычисления спектра цифровых сигналов и расчёта цифровых фильтров.	практические задания
	ОПК-11.3: Владеет: - навыками реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов.	Владеть: - навыками реализации на персональном компьютере некоторых основных алгоритмов цифровой обработки сигналов.	практические задания

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения	очно-заочная форма обучения	заочная форма обучения
Общая трудоемкость	3		
Часов по учебному плану	108		
в том числе			
аудиторные занятия (контактная работа):			
- занятия лекционного типа	32		
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32		
- КСР	1		
самостоятельная работа	43		
Промежуточная аттестация	зачёт		

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание 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	Занятия лабораторного типа	Всего	
Дискретные сигналы и системы	30	10		10	20	10
Z-преобразование	9	4		0	4	5
Дискретное преобразование Фурье	18	6		4	10	8
Анализ и проектирование цифровых фильтров	50	12		18	30	20
КСР	1				1	
Итого	108	32		32	65	43

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает:

выполнение студентами лабораторных работ, предполагающих реализацию алгоритмов цифровой обработки сигналов на персональном компьютере с использованием современных программных средств.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 32 ч.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

навыков практического применения алгоритмов цифровой обработки сигналов в задачах исследования механизмов обеспечения информационной безопасности телекоммуникационных систем, сетей и устройств, технических и программно-аппаратных средств защиты информации, реализации новых компьютерных моделей в современной технике.

- компетенций:

ОПК-11.2:

- умение использовать типовые пакеты прикладных программ для анализа и синтеза систем цифровой обработки сигналов;

ОПК-11.3:

- владение навыками реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: занятий лабораторного типа.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "Цифровая обработка сигналов" (<https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=9511>).

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

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

	полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	грубые ошибки.	ошибки.	несколько негрубых ошибок	несколько несущественных ошибок	ошибок.	ки.
<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 владения материалом . 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.	Продемонстрированы творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки 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», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы для проверки компетенции ОПК-11

1. По каким признакам осуществляется классификация сигналов и систем?
2. Приведите примеры дискретных во времени сигналов.
3. Дайте определение понятия “ дискретная линейная система с постоянными параметрами (ЛПП-система)”.
4. Что такое импульсная характеристика ЛПП-системы?
5. Каково соотношение, определяющее выходной отклик ЛПП-системы на произвольный входной сигнал?
6. Каковы условия устойчивости и физической реализуемости ЛПП-системы?
7. Что такое частотная характеристика ЛПП-системы?
8. Определите понятие “спектральная характеристика “ дискретного сигнала.
9. Сформулируйте условия дискретизации во времени аналогового видеосигнала.
10. Как дискретизовать во времени узкополосный аналоговый радиосигнал?
11. Поясните процедуру квадратурного разложения узкополосного радиосигнала.
12. Как выполняется процедура уменьшения частоты дискретизации дискретного сигнала?
13. Как реализовать процедуру увеличения частоты дискретизации дискретного сигнала?
14. Что такое Z-преобразование?

15. Перечислите свойства Z-преобразования.
16. Что такое передаточная (системная) функция ЛПП- системы?
17. Напишите дискретный ряд Фурье.
18. Что такое ДПФ?
19. Каковы свойства ДПФ?
20. Что такое циклическая и линейная свертки?
21. Как вычисляется “быстрая” линейная свертка?
22. Что такое КИХ и БИХ-фильтры?
23. Приведите пример КИХ-фильтра 1-го порядка.
24. Приведите пример БИХ-фильтра 1-го порядка.
25. Что такое прямая и каноническая структуры ЦФ?
26. Что такое каскадная и параллельная структуры ЦФ?
27. Каковы особенности реализации структур КИХ-фильтров?
28. Каковы эффекты квантования параметров ЦФ?
29. В чем сущность метода билинейного преобразования?
30. Что такое метод инвариантности импульсной характеристики?
31. Как проектируются БИХ-фильтры стандартных типов: ФНЧ, ФВЧ, ФПП,ФПЗ ?
32. Когда необходимо машинное проектирование БИХ-фильтров?
33. Каковы условия линейности ФЧХ КИХ-фильтра?
34. Каковы разновидности КИХ- фильтров с линейной ФЧХ и их частотные характеристики?
35. В чем сущность метода взвешивания?
36. В чем сущность метода частотной выборки?
37. Поясните идею метода чебышевской оптимизации при проектировании КИХ-фильтра.

5.2.2. Письменные вопросы к зачёту для проверки компетенции ОПК-11

1. Дискретные сигналы (последовательности) и их представление. Синусоиды дискретного времени и их особенности в сравнении с синусоидами непрерывного времени.
2. Дискретные линейные системы с постоянными параметрами (ДЛПП-системы) и их описание: во временной области (импульсная характеристика); на основе линейных разностных уравнений (РУ).
3. Дискретные линейные системы с постоянными параметрами (ДЛПП-системы) и их описание: в частотной области (частотная характеристика); в комплексной z-плоскости (передаточная характеристика).
4. Связь различных характеристик ДЛПП-системы между собой и примеры их вычисления.
5. Дискретно-временная свертка, ее свойства. Пример вычисления свертки.
6. Устойчивость и физическая реализуемость ДЛПП-системы.
7. Представление дискретных сигналов в частотной области. Дискретное во времени преобразование Фурье (ДВПФ) и его свойства. Примеры вычисления прямого и обратного ДВПФ.
8. Дискретизация сигналов непрерывного времени: теорема отсчетов для видеосигналов (формулировка и доказательство).
9. Дискретизация сигналов непрерывного времени: теорема отсчетов для радиосигналов (формулировка и доказательство).
10. Частотно-временные деформации дискретного сигнала: уменьшение частоты дискретизации в целое число раз (прореживание, децимация); увеличение частоты дискретизации в целое число раз (интерполяция).
11. Z-преобразование (прямое и обратное): свойства прямого z-преобразования; область сходимости. Примеры вычисления прямого и обратного Z-преобразования.

12. Z-преобразование (прямое и обратное): решение разностных уравнений с помощью Z-преобразования. Примеры вычисления прямого и обратного Z-преобразования.
13. Z-преобразование (прямое и обратное): передаточная (системная) функция. Примеры вычисления прямого и обратного Z-преобразования.
14. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ): представление периодических последовательностей дискретным рядом Фурье (ДРФ); представление по Фурье последовательности конечной длительности (ДПФ).
15. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ): свойства ДПФ; примеры вычисления ДПФ.
16. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ): реализация линейной свертки с помощью ДПФ («быстрая» свертка); связь ДВПФ и ДПФ.
17. Примеры КИХ-фильтров первого и второго порядков. Их частотные и временные характеристики.
18. Примеры БИХ-фильтров первого и второго порядков. Их частотные и временные характеристики.
19. Основные структурные схемы при построении БИХ-фильтров: прямая и каноническая структуры.
20. Основные структурные схемы при построении БИХ-фильтров: каскадная и параллельная структуры.
21. Основные структурные схемы при построении КИХ-фильтров: прямая, каскадная и структура на основе быстрой свертки.
22. Основные структурные схемы при построении КИХ-фильтров: структуры с частотной выборкой.
23. Расчет БИХ-фильтров по методу инвариантности импульсной характеристики.
24. Расчет БИХ-фильтров стандартных типов методом билинейного преобразования.
25. КИХ-фильтры с линейной фазо-частотной характеристикой, виды и свойства их импульсных и частотных характеристик.
26. Методы расчета КИХ-фильтров с линейной ФЧХ.

5.2.3. Примеры практических заданий для проверки компетенции ОПК-11

Задание 1

Построить цифровой фильтр нижних частот с частотой среза 0.15, подавлением вне полосы не менее 40Дб и монотонной амплитудно-частотной характеристикой в полосе пропускания. Изобразить частотную и импульсную характеристики фильтра.

Продemonстрировать работу фильтра на примере полигармонического сигнала.

Задание 2

Построить цифровой фильтр верхних частот с частотой среза 0.25, подавлением вне полосы не менее 30Дб и монотонной амплитудно-частотной характеристикой в полосе пропускания. Изобразить частотную и импульсную характеристики фильтра.

Продemonстрировать работу фильтра на примере полигармонического сигнала.

Задание 3

Построить полосно-пропускающий цифровой фильтр с границами полосы пропускания [0.15 0.25], подавлением вне полосы не менее 40Дб. Изобразить частотную и импульсную характеристики фильтра. Продemonстрировать работу фильтра на примере полигармонического сигнала.

Задание 4

Построить полосно-запирающий цифровой фильтр с границами полос пропускания [0.2 0.35], подавлением в полосе записания не менее 30Дб. Изобразить частотную и

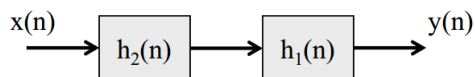
импульсную характеристику фильтра. Продемонстрировать работу фильтра на примере полигармонического сигнала.

5.2.4. Примеры вопросов теста для проверки компетенции ОПК-11

1. Выражение $y(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)h(n-k)$, где $x(n)$ и $y(n)$ – входной и выходной сигналы системы,

$h(n)$ – импульсная характеристика системы) справедливо для:

- 1) дискретных линейных систем с постоянными во времени параметрами;
 - 2) дискретных линейных систем;
 - 3) дискретных систем (в том числе и нелинейных);
 - 4) дискретных инвариантных с сдвигом систем (в том числе и нелинейных).
2. Импульсная характеристика системы, состоящей из последовательного соединения двух дискретных линейных систем с постоянными параметрами (как изображено на рисунке)



будет равна:

- 1) $h_1(n) + h_2(n)$;
 - 2) $h_1(n)*h_2(n)$, где * - операция свёртки;
 - 3) $h_2(n)*h_1(n)$, где * - операция свёртки;
 - 4) справедливы варианты 2) и 3).
3. Является ли устойчивой система с импульсной характеристикой $h(n) = \begin{cases} b^n, n \geq 0 \\ 0, n < 0 \end{cases}$?
- 1) да;
 - 2) если $|b| < 1$;
 - 3) если $|b| > 1$;
 - 4) нет.
4. Уравнение $y(n) = \sum_{k=1}^N a(k)y(n-k) + \sum_{k=0}^M b(k)x(n-k)$ описывает КИХ-систему, если:
- 1) $b(k)=0$;
 - 2) $b(k)=0, b=1, \dots, M$;
 - 3) $a(k)=0$;
 - 4) $a(k)=0, b=2, \dots, M$.
5. Частотная характеристика дискретной линейной системы $H(e^{j\omega})$ является:
- 1) непериодической функцией частоты;
 - 2) периодической функцией частоты с периодом π ;
 - 3) периодической функцией частоты с периодом 2π ;
 - 4) периодической функцией частоты с периодом $\pi/2$.

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

а) основная литература:

1. Кривошеев В.И. Цифровая обработка сигналов : учеб. пособие / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2006. - 207 с.
2. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. - М.: Техносфера, 2009. - 856 с.
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363295.html>

б) дополнительная литература:

1. Афанасьев А.А. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие / Афанасьев А.А.; Рыболовлев А.А.; Рыжков А.П. - Москва : Горячая линия - Телеком, 2019. - 356 с.
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991206112.html>
2. Басараб М.А. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях. - М.: Физматлит, 2007. - 544 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2215

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

1. http://www.itlab.unn.ru/archive/lectures/DSP/DSP_Lectures.pdf
2. <http://www.dsp-book.narod.ru>
3. <http://www.pselab.ru>
4. Среда программирования LabVIEW.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: компьютерный класс, доска, мел, мультимедийный проектор, компьютер, подключенный к сети Интернет.

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 ФГОС ВО по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Автор(ы): _____ Ивлев Д.Н.

Заведующий кафедрой: _____ Фитасов Е.С.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «23» марта 2021 года, протокол № 02/21.