

025

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Минцаев Максим Павлович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 22.11.2023 12:26:49  
Уникальный программный ключ:  
236bcc35c296f119d6aafdc22836b21db52dbc07971a68865a5825f9a4304cc

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**имени академика М.Д. Миллионщикова**

«УТВЕРЖДАЮ»  
Первый проректор  
И.Г. Гайрабеков  
20 02 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**Дисциплины**

«Цифровая обработка сигналов»

**Специальность**

21.05.03 «Технологии геологической разведки»

**Специализация**

«Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых»

**Квалификация**

горный инженер-геофизик

**Грозный 2020**

## 1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является овладение студентами методикой экспериментальных данных разведочной геофизики. Задача изучения дисциплины – это обучение студентов приемам изучения спектральных и корреляционных свойств геофизических полей, регрессионного и факторного анализа полей, фильтрации экспериментальных данных при различной полноте априорной информации о сигналах и помехах.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к базовой части профессионального цикла. Перечень дисциплин, необходимых для изучения курса «Цифровая обработка сигналов»: «Высшая математика», «Физика», «Радиоэлектроника», «Общие курсы разведочной геофизики».

## 3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

Выпускник по специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки с квалификацией горный инженер-геолог должен обладать следующими компетенциями:

- способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);
- ведением поиска и оценки возможности внедрения компьютеризированных систем (включая реализацию программного обеспечения, графического моделирования) для управления технологиями геологической разведки (ПК-10);
- способностью находить, анализировать и перерабатывать информацию, используя современные информационные технологии (ПК-14);
- способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ПСК-2.1);

С целью получения данной специализации при изучении базовой части цикла обучающийся должен:

### ***Знать:***

- теорию поля; теорию функций комплексного переменного; гармонический анализ, линейные преобразования, цифровую фильтрацию и теоретические приемы цифровой обработки сигналов – в объеме, необходимом для владения математическим аппаратом при решении геологоразведочных задач; основные понятия теории поля и используемые экспериментальные законы;
- основные математические закономерности, описывающие поведение статических, стационарных и переменных полей разной физической природы (ОК-1); (ПК-10); (ПК-14); (ПСК-1.1);

### ***Уметь:***

- применять математические методы теории поля: теории комплексных переменных для решения типовых профессиональных задач;
- рассчитывать параметры статических, стационарных и переменных полей для заданных условий (ОК-1); (ПК-10); (ПК-14); (ПСК-1.1);

### ***Владеть:***

- способами графического изображения результатов и их грамотного анализа;
- математическими приемами цифровой обработки сигналов (ПК-10); (ПК-14); (ПСК-1.1);

#### 4. Объём дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы		Всего часов/ зач.ед.	
		Семестры	
		ОФО	ЗФО
		6	10
<b>Контактная работа (всего)</b>		<b>48/1,33</b>	<b>12/0,33</b>
В том числе:			
Лекции		32/0,88	4/0,11
Лабораторные работы		16/0,44	8/0,22
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>		<b>60/1,66</b>	<b>96/2,66</b>
В том числе:			
Рефераты		20/0,55	50/1,38
Подготовка к лабораторным работам		20/0,55	26/0,72
Подготовка к экзамену		20/0,55	20/0,55
<b>Вид отчетности</b>		зачет	зачет
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>		<b>ВСЕГО в часах</b>	<b>108</b>
		<b>ВСЕГО в зач. единицах</b>	<b>3</b>
		<b>108</b>	<b>3</b>

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины по семестрам	Лекц. зан. часы	Лаб. зан. часы	Всего часов
1.	Дискретные и цифровые сигналы и системы. Методы математического описания и анализа.	14	6	20
2.	Рекурсивные и нерекурсивные цифровые фильтры. Методы структурной реализации и синтеза.	14	6	20
3.	Методы цифровой фильтрации и спектрально-корреляционного анализа сигналов на основе дискретного преобразования Фурье.	4	2	6
<b>ИТОГО</b>		<b>32</b>	<b>16</b>	<b>51</b>

## 5.2. Лекционные занятия

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Дискретные и цифровые сигналы и системы. Методы математического описания и анализа	<i>Лекция 1.</i> Введение в цифровую обработку сигналов. Сигналы и их преобразования при цифровой обработке. Общая структура системы цифровой обработки аналоговых сигналов. Математические модели дискретных сигналов. Спектр дискретного сигнала. Квантование сигналов по уровню. Цифровое кодирование сигнала. Условия выбора разрядности АЦП.
		<i>Лекция 2.</i> Математические описания и характеристики дискретных систем. Методы математического описания линейных дискретных систем во временной области и алгоритмы цифровой фильтрации на их основе. Методы математического описания сигналов дискретных систем на комплексной плоскости (в частотной области). Тестовые последовательности дискретных систем. Передаточная функция и частотная характеристика дискретной системы.
2.	Рекурсивные и не рекурсивные цифровые фильтры. Методы структурной реализации и синтеза	<i>Лекция 3.</i> Характеристики и структуры цифровых фильтров. Передаточные функции рекурсивных фильтров. Частотные характеристики рекурсивных фильтров. Формы реализации рекурсивных фильтров. Прямая форма реализации, передаточная функция и частотная характеристика нерекурсивного фильтра.
		<i>Лекция 4.</i> Синтез рекурсивных фильтров по заданной частотной характеристике. Синтез рекурсивных фильтров по аналоговому прототипу. Метод билинейного преобразования. Методика синтеза РФ по аналоговому прототипу.
		<i>Лекция 5.</i> Синтез нерекурсивных фильтров по заданной частотной характеристике. Синтез нерекурсивных фильтров методом весовых функций. Синтез нерекурсивных фильтров методом частотной выборки. Численные методы синтеза цифровых фильтров.
		<i>Лекция 6.</i> Оценка и обеспечение точности цифровых фильтров. Влияние конечной разрядности чисел. Масштабирование сигналов в цифровых фильтрах. Оценка шумов квантования и требуемой разрядности АЦП и регистров. Методика решения задач конечной разрядности чисел в цифровых фильтрах.
3.		<i>Лекция 7.</i> Алгоритм цифровой фильтрации

	Методы цифровой фильтрации и спектрально-корреляционного анализа сигналов на основе дискретного преобразования Фурье	сигналов на основе дискретного преобразования Фурье. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Алгоритм цифровой фильтрации конечных последовательностей на основе ДПФ
		<i>Лекция 8.</i> Анализаторы спектра сигналов на основе дискретного преобразования Фурье. Базовая структура анализатора спектра и измеряемые им спектральные характеристики сигналов. Частотные характеристики анализатора спектра. Определение откликов анализатора спектра на гармонические сигналы. Роль весовых функций при спектральном анализе и их основные параметры.
		<i>Лекция 9.</i> Спектрально-корреляционный анализ дискретных случайных сигналов. Определения параметров и характеристик дискретных случайных сигналов. Статистические оценки характеристик дискретных случайных сигналов. Вычисление СПМ и ВСПМ методом коррелограмм. Статистические периодограммные оценки СПМ и ВСПМ дискретных случайных сигналов. Вычисление СПМ и ВСПМ методом периодограмм Уэлча. Вычисление оценок корреляции с помощью ДПФ.

### 5.3. Лабораторный практикум

#### Лабораторные занятия, их содержание

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	<b>Временная и частотная оси ДПФ</b>	Частотная ось ДПФ в Герцах (Гц). Частотная ось ДПФ в радианах в секунду. Частотная ось ДПФ для нормированной частоты. Частотная ось ДПФ для нормированной угловой частоты.
2.	<b>Особенности спектрального анализа методом ДПФ</b>	Эффект наложения. Растекание спектральных компонент. Амплитудная модуляция спектра. Отклик ДПФ-анализатора на гармонический сигнал.
3.	<b>Особенности применения окон при спектральном анализе методом ДПФ</b>	Прямоугольное окно. Треугольное окно (окно Бартлетта). Окно Ханна. Окно Хэмминга.
4.	<b>О выборе оконных функций при спектральном анализе периодических сигналов</b>	Спектральный анализ случайных последовательностей. Классификация методов спектрального анализа. Спектральный анализ стационарных случайных процессов с использованием ДПФ.

#### **5.4. Практические занятия (семинары)**

Не предусмотрены учебным планом.

#### **6. Самостоятельная работа студентов по дисциплине**

##### **Темы для самостоятельного изучения**

1. Оценка спектра по дискретным отсчетам. Конечное число выборок.
2. Явление Гиббса.
3. Дискретное во времени преобразование Фурье (ДВПФ). Основные свойства ДВПФ.
4. Примеры вычисления ДВПФ.
5. Дискретный во времени ряд Фурье.
6. Ряд Фурье в  $N$ -мерном евклидовом пространстве и дискретное преобразование Фурье (ДПФ).
7. Основные теоремы и свойства ДПФ.
8. Матричная форма ДПФ.
9. Соответствие между ДПФ, рядом Фурье и непрерывным преобразованием Фурье. Связь ДПФ и ДВПФ.
10. Интерполяционная формула восстановления ДВПФ по коэффициентам ДПФ.
11. Интерполяция за счёт дополнения нулями. Интерполяция функций с ограниченной полосой с помощью ДПФ.
12. Два пути перехода от непрерывных к дискретным преобразованиям Фурье.
13. Быстрое преобразование Фурье. Алгоритм БПФ с составным основанием.
14. Алгоритм БПФ с основанием 2.
15. Алгоритмы БПФ с прореживанием по времени и по частоте.
16. Алгоритмы БПФ с постоянной структурой. Вычисление обратного ДПФ.
17. Спектральный анализ методом ДПФ и его особенности. Эффекты наложения, растекания, паразитной амплитудной модуляции.
18. Окна при гармоническом спектральном анализе методом ДПФ.
19. Прямоугольное окно, окна Ханна и Хэмминга.
20. Отклик ДПФ-анализатора на дискретный гармонический сигнал.
21. Характеристики случайных сигналов.
22. Спектральная плотность мощности (СПМ).

##### **Темы рефератов и докладов**

1. Корреляционная функция. Теорема Винера-Хинчина.
2. Метод периодограмм оценки спектральной плотности мощности случайного процесса.
3. Периодограмма с дискретным временем. Сглаживание оценки СПМ по методу Бартлетта.
4. Линейные дискретные фильтры. Разностные уравнения.
5. Переход от преобразования Лапласа к  $z$ -преобразованию.
6. Свойства  $z$ -преобразования. Примеры  $z$ -преобразования.
7.  $Z$ -преобразование единичного импульса, единичного скачка, действительной и комплексной экспоненты, дискретной синусоиды и косинусоиды.
8. Вычисление обратного  $z$ -преобразования.
9. Уравнение цифрового фильтра в терминах  $z$ -преобразования.
10. Импульсная и передаточная характеристики цифрового фильтра.
11. Условие устойчивости при рекурсивной реализации.

12. Примеры цифровых фильтров. Цифровой интегратор. Цифровой дифференциатор (простой).
13. Трансверсальный фильтр.
14. Цифровые фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры). Способы реализации.
15. КИХ-фильтры с линейной фазовой характеристикой.
16. Реализация КИХ-фильтров методом частотной выборки.
17. Гребенчатый фильтр, его характеристики и реализация.
18. Комплексные резонаторы, их характеристики и блок-схема реализации. КИХ-фильтры с целыми коэффициентами.
19. Фильтр скользящего усреднения.
20. Гребенка полосовых фильтров и ДПФ.
21. Высокоскоростная свертка с использованием БПФ.

## 7. Оценочные средства

### Вопросы к 1<sup>ой</sup> рубежной аттестации

1. Какие преобразования имеют место при цифровой обработке сигналов?
2. Что такое дискретный сигнал и дискретная последовательность?
3. Какова природа размножения спектров при дискретизации сигналов по времени?
4. В чем заключаются взаимосвязь и отличие спектров дискретного и аналогового сигналов?
5. Как по известному спектру аналогового сигнала определить спектр соответствующего ему дискретного сигнала?
6. В чем заключается явление наложения спектров при дискретизации сигналов?
7. Можно ли по известному спектру дискретного сигнала найти спектр соответствующего ему аналогового сигнала?
8. Из каких условий выбирается частота дискретизации аналоговых сигналов?
9. Какова математическая модель квантования сигнала по уровню?
10. Как определяется погрешность квантования дискретного квантованного сигнала?
11. Как осуществляется цифровое кодирование сигнала?
12. Как определяется погрешность квантования цифрового сигнала?
13. Из каких условий выбирается необходимая разрядность ЛЦП?
14. Как определяется автокорреляционная функция и спектральная плотность шума квантования ЛЦП?
15. При каком условии цифровой и дискретный сигналы математически адекватны?
16. В соответствии с каким алгоритмом и как осуществляется обработка сигнала рекурсивным и нерекурсивным фильтрами?
17. Что понимается под импульсной характеристикой дискретной системы?
18. Какие фильтры называются фильтрами БИХ и КИХ-типа?
19. Что является коэффициентами нерекурсивных фильтров?
20. Какое преобразование применяют для описания дискретных сигналов и систем на комплексной плоскости и почему?
21. Какова связь между Z-преобразованием и преобразованием Фурье?
22. Как определяются передаточная функция и частотная характеристика дискретной системы?
23. Какова связь между передаточной функцией, частотной и импульсной характеристиками дискретной системы?
24. Каковы особенности частотных характеристик дискретных систем?
25. Как изменяется частотная характеристика дискретной системы при изменении частоты дискретизации?

Грозненский государственный нефтяной технический университет

**Аттестационный билет №** \_\_

Дисциплина: **Цифровая обработка сигналов**

ИНГ специальность: **НИ-**\_\_ - \_\_ семестр: \_\_\_\_\_

1. Каковы условия физической реализуемости и устойчивости РФ?
2. Что такое дискретный сигнал и дискретная последовательность?

---

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. ст. преп. кафедры «ПГиГ» \_\_\_\_\_ С.С-А.Гацаева

### **Вопросы ко 2<sup>ой</sup> рубежной аттестации**

1. Как находится передаточная функция РФ по его разностному уравнению?
2. Что такое нули и полюсы цифрового фильтра и какую информацию они несут?
3. Какой вид имеет нуль-полюсная форма передаточной функции РФ и каково ее практическое значение?
4. В чем заключается способ графического нахождения частотной характеристики РФ?
5. Каковы условия физической реализуемости и устойчивости РФ?
6. Каковы основные формы реализации РФ и их математические описания?
7. Каковы структуры и математические описания прямой и канонической форм реализации рекурсивных звеньев второго порядка?
8. Как осуществляется обработка сигнала рекурсивным звеном второго порядка?
9. Какова структура НФ на основе ДВС?
10. Каково условие линейности фазочастотной характеристики НФ?
11. Как аналитически найти отклик РФ на заданное входное воздействие?
12. Как аналитически найти отклик НФ на заданное входное воздействие?
13. Каков требуемый объем вычислений и памяти для РФ и НФ?
14. Каковы сравнительные преимущества РФ и НФ?
15. Каковы задачи, методы и цели синтеза ЦФ по заданной частотной характеристике?
16. В чем заключается метод синтеза РФ по аналоговому прототипу?
17. Какова взаимосвязь между частотами аналогового и цифрового фильтров при билинейном преобразовании?
18. В чем преимущества применения обобщенных преобразований при синтезе РФ заданного типа (ФВЧ, НПФ, ПЗФ)?
19. Как определяются требования к аналоговому фильтру-прототипу при синтезе РФ?
20. Из каких условий выбирается вид аппроксимирующей функции?
21. Как находятся нули, полюсы и коэффициенты РФ?



Грозненский государственный нефтяной технический университет

**Аттестационный билет №** \_\_\_

Дисциплина: **Цифровая обработка сигналов**

ИНГ специальность: **НИ-** \_\_\_ - \_\_\_ семестр: \_\_\_\_\_

3. Каковы условия физической реализуемости и устойчивости РФ?
4. Что такое дискретный сигнал и дискретная последовательность?

---

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. ст. преп. кафедры «ПГиГ» \_\_\_\_\_ С.С-А.Гацаева

### Вопросы к экзамену

1. Какие преобразования имеют место при цифровой обработке сигналов?
2. Что такое дискретный сигнал и дискретная последовательность?
3. Какова природа размножения спектров при дискретизации сигналов по времени?
4. В чем заключаются взаимосвязь и отличие спектров дискретного и аналогового сигналов?
5. Как по известному спектру аналогового сигнала определить спектр соответствующего ему дискретного сигнала?
6. В чем заключается явление наложения спектров при дискретизации сигналов?
7. Можно ли по известному спектру дискретного сигнала найти спектр соответствующего ему аналогового сигнала?
8. Из каких условий выбирается частота дискретизации аналоговых сигналов?
9. Какова математическая модель квантования сигнала по уровню?
10. Как определяется погрешность квантования дискретного квантованного сигнала?
11. Как осуществляется цифровое кодирование сигнала?
12. Как определяется погрешность квантования цифрового сигнала?
13. Из каких условий выбирается необходимая разрядность ЛЦП?
14. Как определяется автокорреляционная функция и спектральная плотность шума квантования ЛЦП?
15. При каком условии цифровой и дискретный сигналы математически адекватны?
16. В соответствии с каким алгоритмом и как осуществляется обработка сигнала рекурсивным и нерекурсивным фильтрами?
17. Что понимается под импульсной характеристикой дискретной системы?
18. Какие фильтры называются фильтрами БИХ и КИХ-типа?
19. Что является коэффициентами нерекурсивных фильтров?
20. Какое преобразование применяют для описания дискретных сигналов и систем на комплексной плоскости и почему?
21. Какова связь между Z-преобразованием и преобразованием Фурье?
22. Как определяются передаточная функция и частотная характеристика дискретной системы?
23. Какова связь между передаточной функцией, частотной и импульсной характеристиками дискретной системы?
24. Каковы особенности частотных характеристик дискретных систем?
25. Как изменяется частотная характеристика дискретной системы при изменении частоты дискретизации?
26. Как находится передаточная функция РФ по его разностному уравнению?
27. Что такое нули и полюсы цифрового фильтра и какую информацию они несут?

28. Какой вид имеет нуль-полосная форма передаточной функции РФ и каково ее практическое значение?
29. В чем заключается способ графического нахождения частотной характеристики РФ?
30. Каковы условия физической реализуемости и устойчивости РФ?
31. Каковы основные формы реализации РФ и их математические описания?
32. Каковы структуры и математические описания прямой и канонической форм реализации рекурсивных звеньев второго порядка?
33. Как осуществляется обработка сигнала рекурсивным звеном второго порядка?
34. Какова структура НФ на основе ДВС?
35. Каково условие линейности фазочастотной характеристики НФ?
36. Как аналитически найти отклик РФ на заданное входное воздействие?
37. Как аналитически найти отклик НФ на заданное входное воздействие?
38. Каков требуемый объем вычислений и памяти для РФ и НФ?
39. Каковы сравнительные преимущества РФ и НФ?
40. Каковы задачи, методы и цели синтеза ЦФ по заданной частотной характеристике?
41. В чем заключается метод синтеза РФ по аналоговому прототипу?
42. Какова взаимосвязь между частотами аналогового и цифрового фильтров при билинейном преобразовании?
43. В чем преимущества применения обобщенных преобразований при синтезе РФ заданного типа (ФВЧ, НПФ, ПЗФ)?
44. Как определяются требования к аналоговому фильтру-прототипу при синтезе РФ?
45. Из каких условий выбирается вид аппроксимирующей функции?
46. Как находятся нули, полюсы и коэффициенты РФ?

*Образец экзаменационного билета*

Грозненский государственный нефтяной технический университет

**БИЛЕТ №** \_\_\_

Дисциплина: **Цифровая обработка сигналов**

ИНГ специальность: **НИ-**\_\_ - \_\_ семестр: \_\_\_\_\_

5. Каковы условия физической реализуемости и устойчивости РФ?
6. Что такое дискретный сигнал и дискретная последовательность?

---

**«Утверждаю»**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. Зав. кафедрой «ПГиГ» \_\_\_\_\_ А.С.Эльжаев

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Литература

**основная:**

1. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ. / Шафер Р.; 2-е изд., испр. - М.: Техносфера, 2009. – 856 с.
2. Ричард Лайонс. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. М.: Бином-Пресс, 2006. 656 с.
3. Смит С. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников. Додэка-XXI, 2011. 718 с. ЭБС Книгофонд (<http://www.knigafund.ru/books/106052>)

4. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях / под ред. В. Ф. Кравченко. - М.: Физматлит, 2011. – 544 с. ЭБС Книгофонд (<http://www.knigafund.ru/books/112577>).
5. Юкио Сато. Без паники. Цифровая обработка сигналов. Пер. с англ. с яп. Селиной Т.Г. М.: Додэка-XXI, 2010. 176 с.

***дополнительная:***

1. Глинченко А.С. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие: в 2 ч. / А. С. Глинченко. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001. Ч. 1/2.
2. Романюк Ю.А. Основы цифровой обработки сигналов. Учебное пособие. Часть1. МФТИ. 2005г.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2002, 608 с.
4. Смит С. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников. - Додэка -XXI, 2011 г. -718 с. ЭБС Книгофонд (<http://www.knigafund.ru/books/106052>).
5. Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB: учеб. пособие для вузов / Арбузов С. М.; - СПб.: БХВ-Петербург, 2008. - 816 с.

***технические и электронные средства обучения (ТЭСО), иллюстративные материалы:***

1. Проектор мультимедиа (Пр).
2. Персональные компьютеры, ноутбуки (РС).
3. Система компьютерной математики (СКМ) MathCAD-14.

***программное обеспечение***

1. Электронный конспект лекций.
2. Обучающая программа ГЕОСТАТ.
3. Компьютерная технология КАСКАД-2D, КАСКАД-3D.

**9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- Лаборатория обработки и интерпретации геофизических данных содержащий комплекс программ для оцифровки и автоматизированной визуальной интерпретации результатов геофизических исследований скважин.
- Лаборатория геоинформационных технологий.
- Для проведения качественного обучения в лабораториях используются предоставленные ведущими геофизическими организациями (предприятиями) аппаратура и оборудование и программные комплексы современного уровня.
- В лабораториях содержатся электронные версии методических указаний к лабораторным работам.

**РАЗРАБОТЧИК:**

Ст. преп. кафедры "Прикладная  
геофизика и геоинформатика"



/ . Гацаева С.С.-А./

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой «ПГ и Г»



/ Эльжаев А.С./

Директор ДУМР



/ Магомаева М.А./