

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Современные методы спектрального анализа

---

Уровень высшего образования

Специалитет

---

Направление подготовки / специальность

11.05.02 - Специальные радиотехнические системы

---

Направленность образовательной программы

Радиотехнические системы и комплексы сбора и обработки информации

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 Современные методы спектрального анализа 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-2: Способен проводить математическое и компьютерное моделирования, а также экспериментальные исследования объектов и процессов в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и апробации перспективных технических решений	<p>ПК-2.1: Понимает основы моделирования и компьютерного проектирования радиоэлектронных средств, стандартные пакеты прикладных программ, ориентированных на решение научных и проектных задач радиоэлектроники</p> <p>ПК-2.2: Понимает математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиоэлектронных средств</p> <p>ПК-2.3: Применяет компьютерные системы и пакеты прикладных программ для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств</p> <p>ПК-2.4: Проводит экспериментальные исследования в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и апробации перспективных технических решений</p>	<p>ПК-2.1: Владеть основами моделирования и компьютерного проектирования радиоэлектронных средств, стандартных пакетов прикладных программ, ориентированных на решение научных и проектных задач радиоэлектроники</p> <p>ПК-2.2: Знать математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиоэлектронных средств</p> <p>ПК-2.3: Уметь применять компьютерные системы и пакеты прикладных программ для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств</p> <p>ПК-2.4: Уметь Проводить экспериментальные исследования в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и</p>	Аудиторная контрольная работа Задания	Экзамен: Контрольные вопросы Задачи

		апробации перспективных технических решений		
--	--	---	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>4</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>0</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>64</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>33</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>45</b>
	<b>Экзамен</b>

#### 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
1. Спектральные представления детерминированных сигналов	7		5	5	2
2. Спектральные представления случайных процессов.	7		5	5	2
3. Классические методы цифрового спектрального оценивания.	8		6	6	2
4. Параметрические модели случайных процессов.	8		6	6	2
5. Алгоритмы авторегрессионного спектрального оценивания.	8		6	6	2
6. Спектральное оценивание на основе АРСС-моделей.	8		6	6	2
7. Метод Прони.	8		6	6	2
8. Введение в измерение спектров нестационарных сигналов.	9		6	6	3
9. Частотно-временные распределения.	12		6	6	6

10. Wavelet-преобразование.	12		6	6	6
11. Преобразование Гильберта-Хуанга.	10		6	6	4
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	144	0	64	66	33

### Содержание разделов и тем дисциплины

В рамках курса «Современные методы цифрового спектрального анализа» весь материал можно поделить на 3 раздела:

#### • Раздел 1

Тема 1. Спектральные представления детерминированных сигналов

Тема 2. Спектральные представления случайных процессов.

Тема 3. Классические методы цифрового спектрального оценивания.

#### • Раздел 2

Тема 4. Параметрические модели случайных процессов.

Тема 5. Алгоритмы авторегрессионного спектрального оценивания.

Тема 6. Спектральное оценивание на основе АРСС-моделей.

Тема 7. Метод Прони.

#### • Раздел 3

Тема 8. Введение в измерение спектров нестационарных сигналов.

Тема 9. Частотно-временные распределения.

Тема 10. Wavelet-преобразование.

Тема 11. Преобразование Гильберта-Хуанга.

Часть 3. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ).

Часть 4. Анализ и проектирование цифровых фильтров (ЦФ).

Практические 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.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 32 ч.

### 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.

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных занятий и в конце курса при проведении экзамена по данной дисциплине.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

## **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 - Аудиторная контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

##### **Вариант 1:**

1. Каковы преобразования Фурье сигналов непрерывного времени?
2. Что такое амплитудно-частотный и фазо-частотный спектры сигнала?
3. Что такое энергетический спектр сигнала?
4. Каков ряд Фурье для сигналов непрерывного времени?
5. Каковы дискретно-временные преобразования Фурье?
6. Каков ряд Фурье для периодического сигнала дискретного времени?
7. Каковы дискретные преобразования Фурье для сигналов конечной длительности?
8. Каковы соотношения связи спектральных представлений сигналов непрерывного и дискретного времени?
9. Каковы определения понятия спектральная плотность мощности (СПМ) стационарного случайного процесса непрерывного времени?
10. Напишите соотношение Винера-Хинчина
11. Как определяется спектральная плотность мощности стационарного случайного процесса дискретного времени?
12. Что такое коррелограммный метод оценки СПМ?
13. Каковы статистические характеристики коррелограммной оценки СПМ?
14. В чем сущность периодограммного метода оценки СПМ?
15. В чем сущность метода Уэлча для нахождения периодограммной оценки СПМ?
16. Каковы статистические характеристики периодограммной оценки СПМ?
17. Как и для какой цели используются оконные функции при спектральных измерениях?
18. Что такое частотное разрешение и произведение “устойчивость \* длительность \* ширина полосы”?
19. Как выбираются параметры алгоритмов нахождения спектральных оценок классическими методами?
20. Каковы достоинства и недостатки спектральных оценок получаемых классическими методами?
21. Опишите модели авторегрессии (АР), скользящего среднего (СС) и авторегрессии-скользящего среднего (АРСС) для случайных процессов?

22. Каковы соотношения связей АР-, СС- и АРСС-параметров с автокорреляционной последовательностью?
23. В чем достоинства авторегрессионного процесса и каковы свойства его СПМ?
24. В чем состоят преимущества нахождения оценок СПМ случайных процессов на основе их параметрических моделей?
25. Какова связь авторегрессионного спектрального оценивания и процедуры линейного предсказания случайного процесса?
26. **Что такое рекурсия Левинсона?**

#### **Вариант 2:**

1. Опишите алгоритм спектрального оценивания по методу Юла-Уолкера.
2. Опишите гармонический алгоритм (Берга) оценивания СПМ.
3. Опишите ковариационный алгоритм оценивания СПМ.
4. Опишите модифицированный ковариационный алгоритм оценивания СПМ.
5. Как выбирается порядок моделей при нахождении оценок СПМ?
6. Каковы частотное разрешение и дисперсия АР- оценок СПМ?
7. Каковы достоинства и недостатки АР-оценок СПМ?
8. Опишите методы раздельного оценивания АР- и СС- параметров АРСС- модели.
9. Каковы достоинства и недостатки АРСС-оценок СПМ?
10. Опишите процедуру моделирования выборочных данных суммой экспоненциальных функций.
11. В чем сущность обобщенного метода Прони?
12. Что такое модифицированный метод наименьших квадратов Прони?
13. Какова спектральная интерпретация метода Прони?
14. Каковы достоинства и недостатки оценок СПМ по методу Прони?
15. Чем отличаются простые сигналы от сложных?
16. Что такое база сигнала?
17. Что называют временем корреляции?
18. Что такое текущий, скользящий и мгновенный спектры?
19. Как связаны обобщенная корреляционная функция и функция неопределенности Вудворда?
20. Напишите преобразование Вигнера-Вилля
21. Какого предельного разрешения на плоскости время-частота можно достичь при использовании преобразования Вигнера-Вилля?
22. На какие величины из области время-частотного анализа можно переносить принцип неопределенности энергия – время из квантовой механики, а на какие нет?
23. В чем преимущества преобразования Вигнера-Вилля?
24. Какие основные недостатки преобразования Вигнера-Вилля?
25. Какими способами можно подавить перекрестные члены в распределении Вигнера-Вилля?

#### **Дополнительные вопросы:**

1. Какие время-частотные распределения вам известны?

2. Напишите соотношение для wavelet-преобразования.
3. Что такое базисная функция wavelet-преобразования?
4. Какими свойствами должна обладать базисная функция?
5. Какие базисные wavelet функций вам известны?
6. Можно ли отнести преобразование Габора к wavelet-преобразованиям?
7. В чем особенность частотно-временного разрешения для wavelet-преобразования?
8. Какие особенности позволяет обнаружить wavelet-преобразование?
9. Что такое преобразование Гильберта-Хуанга?
10. Объясните принцип эмпирического метода декомпозиции
11. Что называют Гильбертовым спектральным анализом?
12. В чем достоинства преобразования Гильберта-Хуанга?

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Аудиторная контрольная работа)**

Оценка	Критерии оценивания
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 «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно».
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».
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».

#### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

### Вариант 1:

1. Спектральные представления детерминированных сигналов непрерывного и дискретного времен.
2. Спектральные представления случайных стационарных сигналов непрерывного и дискретного времен.
3. Периодограммный метод оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов непрерывного и дискретного времен.
4. Коррелограммный метод оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов непрерывного и дискретного времен.
5. Модель авторегрессии случайных сигналов дискретного времени и свойства ее спектра.
6. Методы блочной оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов дискретного времени на основе авторегрессионной модели (алгоритм Юла-Уолкера).

### Вариант 2:

1. Перекрестные члены частотно-временных распределений и методы борьбы с ними. Распределение Цзуи-Уильямса. Сглаженные распределения.
2. Линейная фильтрация во время-частотной области на примере распределения Вигнера-Вилля.
3. Дискретное преобразование Вигнера-Вилля. Периодичность распределения Вигнера
4. Определение непрерывного вейвлет преобразования. Примеры базисных функций вейвлет-преобразования и их свойства.
5. Свойства вейвлет-преобразования. Частотно-временная локализация вейвлет-преобразования. Способы представления результатов вейвлет-преобразования.

### Дополнительные задания:

1. Для предложенных двух частот гармонических сигналов оценить частотное разрешение классических методов спектрального анализа;
2. Для сигнала заданной длительности и полосы частот оценить потенциальный выигрыш в частотно-временном разрешении при использовании преобразования Вигнера-Вилля по сравнению с классическими алгоритмами;
3. Для заданного сигнала предложить наиболее подходящие методы спектрального или частотно-временного оценивания

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
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



Оценка	Критерии оценивания
	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».
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. 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 вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные

	вследствие отказа обучающегося от ответа	умения. Имели место грубые ошибки	задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и 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-2**

- 1) Спектральные представления детерминированных сигналов непрерывного и дискретного времен
- 2) Спектральные представления случайных стационарных сигналов непрерывного и дискретного времен
- 3) Периодограммный метод оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов непрерывного и дискретного времен
- 4) Коррелограммный метод оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов непрерывного и дискретного времен
- 5) Модель авторегрессии случайных сигналов дискретного времени и свойства ее спектра
- 6) Методы блочной оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов дискретного времени на основе авторегрессионной модели (алгоритм Юла-Уолкера)
- 7) Методы блочной оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов дискретного времени на основе авторегрессионной модели (алгоритм Берга)
- 8) Методы блочной оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов дискретного времени на основе авторегрессионной модели (ковариационный алгоритм)
- 9) Методы блочной оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов дискретного времени на основе авторегрессионной модели (модифицированный ковариационный алгоритм)
- 10) Модель авторегрессии-скользящего среднего случайных сигналов дискретного времени и свойства ее спектра.
- 11) Оценивание спектральной плотности случайных сигналов дискретного времени на основе модели авторегрессии-скользящего среднего.
- 12) Оценивание спектральной плотности случайных сигналов дискретного времени на основе модели Прони.
- 13) Определения простых и сложных сигналов, базы сигнала, времени корреляции. Соотношение длины сигнала и ширины спектра. Недостатки Фурье-анализа по сравнению с частотно-временным анализом
- 14) Обобщенная функция корреляции и Функция неопределенности Вудворта в контексте частотно-временного анализа
- 15) Основные понятия частотно-временного анализа: текущий спектр, оконное преобразование Фурье (скользящий спектр), спектрально-временная плотность энергии (мгновенный спектр)
- 16) Распределение Вигнера-Вилля и его свойства. Достоинства и недостатки распределения Вигнера-Вилля по сравнению с другими методами спектрального анализа
- 17) Локализация энергии в плоскости частота-время для распределения Вигнера-Вилля
- 18) Частотно-временные распределения Габора, Пейджа и Рихачека

19) Класс Козна частотно-временных распределений и их свойства. Характеристическая функция. Локальная автокорреляционная функция.

20) Перекрестные члены частотно-временных распределений и методы борьбы с ними. Распределение Цзуи-Уильямса. Сглаженные распределения.

21) Линейная фильтрация во время-частотной области на примере распределения Вигнера-Вилля.

22) Дискретное преобразование Вигнера-Вилля. Периодичность распределения Вигнера

23) Определение непрерывного вейвлет преобразования. Примеры базисных функций вейвлет-преобразования и их свойства

24) Свойства вейвлет-преобразования. Частотно-временная локализация вейвлет-преобразования. Способы представления результатов вейвлет-преобразования

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
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»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2**

Задача 1: Оценить частотное разрешение классических методов спектрального анализа для гармонических сигналов с частотами 0.2 и 0.21.

Задача 2: Оценить потенциальный выигрыш в частотно-временном разрешении при использовании преобразования Вигнера-Вилля по сравнению с классическими алгоритмами для ЛЧМ сигнала длительностью 100 отчетов в полосе  $[0.1 \ 0.2]$ .

Задача 3: Известно, что исследуемый процесс представляет собой сумму одного или двух гармонических сигналов, ОСШ большое. Аргументируйте выбор метода спектрального оценивания и его параметры.

Задача 4: Известно, что исследуемый процесс представляет собой нестационарный процесс, в котором может присутствовать несколько ЛЧМ слагаемых. Аргументируйте выбор метода частотно-временного оценивания и его параметры.

Задача 5: Оценить частотное разрешение классических методов спектрального анализа для гармонических сигналов с частотами 0.2 и 0.22.

Задача 6: Оценить потенциальный выигрыш в частотно-временном разрешении при использовании преобразования Вигнера-Вилля по сравнению с классическими алгоритмами для ЛЧМ сигнала длительностью 200 отчетов в полосе  $[0.1 \ 0.25]$ .

Задача 7: Известно, что исследуемый процесс представляет собой сумму двух или трех гармонических сигналов, ОСШ большое. Аргументируйте выбор метода спектрального оценивания и его параметры.

Задача 8: Известно, что исследуемый процесс представляет собой нестационарный процесс, в котором присутствует составляющая с частотной модуляцией. Аргументируйте выбор метода частотно-временного оценивания и его параметры.

Задача 9: Оценить частотное разрешение классических методов спектрального анализа для гармонических сигналов с частотами 0.3 и 0.32.

Задача 10: Оценить потенциальный выигрыш в частотно-временном разрешении при использовании преобразования Вигнера-Вилля по сравнению с классическими алгоритмами для ЛЧМ сигнала длительностью 50 отчетов в полосе  $[0.1 \ 0.4]$ .

Задача 11: Известно, что исследуемый процесс представляет собой сумму двух гармонических сигналов, ОСШ маленькое. Аргументируйте выбор метода спектрального оценивания и его параметры.

Задача 12: Известно, что исследуемый процесс представляет собой нестационарный процесс. Необходимо найти моменты времени, в которые производная терпит разрыв. Аргументируйте выбор метода частотно-временного оценивания и его параметры.

Задача 13: Оценить частотное разрешение классических методов спектрального анализа для гармонических сигналов с частотами 0.2 и 0.3.

Задача 14: Оценить потенциальный выигрыш в частотно-временном разрешении при использовании преобразования Вигнера-Вилля по сравнению с классическими алгоритмами для ЛЧМ сигнала длительностью 1000 отчетов в полосе [0.1 0.15].

Задача 15: Известно, что исследуемый процесс представляет собой сумму двух гармонических сигналов, ОСШ маленькое. Аргументируйте выбор метода спектрального оценивания и его параметры.

Задание 16: Известно, что исследуемый процесс представляет собой нестационарный процесс. Необходимо найти моменты времени, в которые вторая производная терпит разрыв. Аргументируйте выбор метода частотно-временного оценивания и его параметры.

Задача 17: Оценить частотное разрешение классических методов спектрального анализа для гармонических сигналов с частотами 0.4 и 0.41.

Задача 18: Оценить потенциальный выигрыш в частотно-временном разрешении при использовании преобразования Вигнера-Вилля по сравнению с классическими алгоритмами для ЛЧМ сигнала длительностью 5000 отчетов в полосе [0.2 0.21].

Задача 19: Известно, что исследуемый процесс представляет собой стационарный цветной шум с слабо изменяющейся в частотной области СПМ. Аргументируйте выбор метода спектрального оценивания и его параметры.

Задача 20: Известно, что исследуемый процесс представляет собой частотно модулированное колебание со сложным законом модуляции. Необходимо оценить тонкую структуру закона модуляции. Аргументируйте выбор метода частотно-временного оценивания и его параметры.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
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»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

Основная литература:

1. Марпл Стэнли Лоренс (младший). Цифровой спектральный анализ и его приложения / пер. с англ. О. И. Хабарова, Г. А. Сидоровой ; под ред. И. С. Рыжака. - М. : Мир, 1990. - 584 с. : ил. - ISBN 5-03-001191-9 : 40.00., 2 экз.
2. Дженкинс Гвилем. Спектральный анализ и его приложения : в 2 вып. Вып. 2 / пер. с англ. В. Ф. Писаренко ; предисл. А. М. Яглома. - М. : Мир, 1972. - 287 с. : черт. - 1.72., 4 экз.

Дополнительная литература:

1. Варакин Леонид Егорович. Теория сложных сигналов. - М. : Советское радио, 1970. - 375 с. : черт. - 1.28., 16 экз.

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

1. <http://www.labview.ru>
2. <http://www.dsp-book.narod.ru>
3. <http://www.pselab.ru>

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

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 направлению подготовки/специальности 11.05.02 - Специальные радиотехнические системы.

Автор(ы): Сорокин Игорь Сергеевич, кандидат физико-математических наук.

Рецензент(ы): Грязнова Ирина Юрьевна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Мальцев Александр Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 16.01.2024 г., протокол № №1.