

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 / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением президиума  
Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. № 13

**Рабочая программа дисциплины**

Цифровой спектральный анализ  
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)  
Направление подготовки / специальность

02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»  
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы  
Теория информации

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.03 «Цифровой спектральный анализ» относится к части ООП направления подготовки 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии, формируемой участниками образовательных отношений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

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	
УК-2. Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1. Знает структуру жизненного цикла проекта.	<p><i>Знать</i> структуру жизненного цикла проекта применительно к цифровой обработке сигналов</p> <p><i>Уметь</i> организовывать жизненный цикл проекта применительно к цифровой обработке сигналов</p> <p><i>Владеть</i> навыком принятия решения на любом этапе жизненного цикла проекта</p>	<i>Письменные и устные ответы на вопросы, контрольные задания собеседование</i>
	УК-2.2. Умеет адаптировать жизненный цикл под специфику конкретных проектов.	<p><i>Знать</i> специфику жизненного цикла проекта применительно к цифровой обработке сигналов</p> <p><i>Уметь</i> анализировать процесс</p>	

		<p>выполнения конкретного проекта и, в случае необходимости, корректировать его план на определенных этапах</p> <p><i>Владеть</i> навыком планирования, анализа получаемых результатов формулировки выводов</p>	
<p>ПК-1. Способен руководить научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, в области информатики и информационных технологий (ФИИТ), и формировать их новые направления в области профессиональной деятельности</p>	<p>ПК-1.1. Знает проблематику и методы научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности.</p>	<p><i>Знать</i> проблемы и методы научных исследований, опытно-конструкторских разработок в области информатики и информационных технологий (ФИИТ)</p> <p><i>Уметь</i> определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности</p> <p><i>Владеть</i> навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований</p>	<p><i>Письменные и устные ответы на вопросы, контрольные задания, собеседование</i></p>

### 3. Структура и содержание дисциплины «Цифровой спектральный анализ»

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>4 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b> - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа ( практические занятия / лабораторные работы)	<b>32</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>65</b>
<b>КСР</b>	<b>2</b>
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>	<b>45</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	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	
	Очная	Очная	Очная	Очная	Очная	Очная
Тема 1 Спектральные представления детерминированных сигналов	8	3			3	4
Тема 2 Спектральные представления случайных процессов.	8	3			3	4
Тема 3	8	3			3	4

<b>Классические методы цифрового спектрального оценивания.</b>						
<b>Тема 4 Параметрические модели случайных процессов.</b>	8	3			3	4
<b>Тема 5 Алгоритмы авторегрессионного спектрального оценивания.</b>	8	3			3	4
<b>Тема 6 Спектральное оценивание на основе АРСС-моделей.</b>	8	3			3	4
<b>Тема 7 Метод Прони.</b>	8	3			3	4
<b>Тема 8 Введение в измерение спектров нестационарных сигналов.</b>	9	3			3	7
<b>Тема 9 Частотно-временные распределения.</b>	12	3			3	12
<b>Тема 10 Wavelet-преобразование.</b>	12	3			3	12
<b>Тема 11 Преобразование Гильберта-Хуанга.</b>	8	2			2	6
<b>В т.ч. текущий контроль</b>	2	2			2	
Промежуточная аттестация – экзамен – 45 часов						

В рамках курса «Цифровой спектральный анализ» 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.

При чтении лекций используется активная форма, заключающаяся в разборе конкретных ситуаций, возникающих при анализе рассматриваемых физических явлений

(анализ корректности постановки задачи, выявление физического смысла полученного результата).

Используются следующие **интерактивные** формы проведения занятий:

- Предоставление студентам адресов необходимых Интернет–ресурсов.
- Обмен со студентами адресами электронной почты для обеспечения оперативного взаимодействия.
- Отправка студентам электронных писем, содержащих необходимые образовательные ресурсы (материалы к лекциям, персональные задания к зачёту).
- Предоставление студентам возможности обсуждения проблем, возникающих при освоении дисциплины, с использованием сети Интернет.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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.

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

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине:

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 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, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном

	я от ответа		все задания но не в полном объеме.	все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	объеме, но некоторые с недочетами.	недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	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	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	<b>превосходно</b>	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
<b>зачтено</b>	<b>отлично</b>	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»
	<b>очень хорошо</b>	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»
	<b>хорошо</b>	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»
	<b>удовлетворительно</b>	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»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	<b>плохо</b>	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

### 5.2.2. Вопросы для оценки компетенции ПК-1

Примеры контрольных вопросов	Код компетенции (согласно РПД)
1. Спектральные представления детерминированных сигналов непрерывного и дискретного времен.	ПК-1

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

### 5.2.3. Вопросы для оценки компетенции ПК-1

<i>Примеры контрольных вопросов</i>	<i>Код компетенции (согласно РПД)</i>
1. Перекрестные члены частотно-временных распределений и методы борьбы с ними. Распределение Цзуи-Уильямса. Сглаженные распределения.	УК-2
2. Линейная фильтрация во время-частотной области на примере распределения Вигнера-Вилля.	УК-2
3. Дискретное преобразование Вигнера-Вилля. Периодичность распределения Вигнера	УК-2
4. Определение непрерывного вейвлет преобразования. Примеры базисных функций вейвлет-преобразования и их свойства.	УК-2
5. Свойства вейвлет-преобразования. Частотно-временная локализация вейвлет-преобразования. Способы представления результатов вейвлет-преобразования.	УК-2

### 5.2.4. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенций УК-2, ПК-1

<i>Примеры контрольных заданий</i>	<i>Код компетенции (согласно РПД)</i>
1. Для предложенных двух частот гармонических сигналов оценить частотное разрешение классических методов спектрального анализа;	УК-2, ПК-1
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;	УК-2, ПК-1
3. Для заданного сигнала предложить наиболее подходящие методы спектрального или частотно-временного оценивания	УК-2, ПК-1

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- 1) Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990



- 2) Дженкинс Г.М., Ваттс Д.Г. Спектральный анализ и его приложения Вып.2. М.: Мир, 1971
- 3) Варакин Л. Е. "Теория сложных сигналов". М. Советское радио. 1970.

б) дополнительная литература:

- 1) Кривошеев В.И. Цифровой спектральный анализ: Авторегрессионное оценивание спектров. Практикум. ННГУ, 2010.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

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

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

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.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО по направлению подготовки **02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»** (магистратура) (утвержден приказом ректора ННГУ 178-ОД от 13.04.2020)

Автор (ы): к.ф.-м.н. Сорокин И.С.

Рецензент (ы): к.ф.-м.н. Грязнова И.Ю.

Заведующий кафедрой статистической радиофизики и мобильных систем связи, профессор, д.ф.-м.н., Мальцев А.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «14» ноября 2022 года, протокол № 08/22.