

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  
(факультет / институт / филиал)

---

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

**Рабочая программа дисциплины**

Современные методы цифрового  
спектрального анализа

---

*(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  
Радиотехнические системы и комплексы сбора и обработки информации

---

*(указывается профиль / магистерская программа / специализация)*

Форма обучения  
очная

---

*(очная / очно-заочная / заочная)*

Нижегород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 «Современные методы цифрового спектрального анализа» относится к части ООП направления подготовки 11.05.02 Специальные радиотехнические системы, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплины по выбору Б1.В.ДВ.02.)

## 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	
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	ПК-2.1. Понимает основы моделирования и компьютерного проектирования радиоэлектронных средств, стандартные пакеты прикладных программ, ориентированных на решение научных и проектных задач радиоэлектроники.	<i>Знает</i> основы моделирования и компьютерного проектирования радиоэлектронных средств, стандартные пакеты прикладных программ, ориентированных на решение научных и проектных задач радиоэлектроники.	<i>Письменные и устные ответы на вопросы, контрольные задания собеседование</i>
	ПК-2.2. Понимает математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиоэлектронных средств.	<i>Знает</i> математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиоэлектронных средств.	
	ПК-2.3. Применяет компьютерные системы и пакеты прикладных	<i>Умеет</i> применять компьютерные системы и пакеты прикладных программ	

	программ для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств.	для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств.	
	ПК-2.4. Проводит экспериментальные исследования в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и апробации перспективных технических решений.	<i>Умеет</i> проводить экспериментальные исследования в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и апробации перспективных технических решений.	

### 3. Структура и содержание дисциплины «Современные методы цифрового спектрального анализа».

#### 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	<b>32</b>
- занятия семинарского типа ( практические занятия / лабораторные работы)	<b>32</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>33</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				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		из них				
	Очная	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	Очная
<b>Тема 1</b> Спектральные представления детерминированных сигналов	9	3	3		6	7
<b>Тема 2</b> Спектральные представления случайных процессов.	9	3	3		6	8
<b>Тема 3</b> Классические методы цифрового спектрального оценивания.	9	3	3		6	7
<b>Тема 4</b> Параметрические модели случайных процессов.	9	3	3		6	8
<b>Тема 5</b> Алгоритмы авторегрессионного спектрального оценивания.	9	3	3		6	7
<b>Тема 6</b> Спектральное оценивание на основе АРСС-моделей.	9	3	3		6	8
<b>Тема 7</b> Метод Прони.	9	3	3		6	7
<b>Тема 8</b> Введение в измерение спектров нестационарных сигналов.	9	3	3		6	8
<b>Тема 9</b> Частотно-временные распределения.	9	3	3		6	7

<b>Тема 10</b> Wavelet-преобразование.	9	3	3		6	7
<b>Тема 11</b> Преобразование Гильберта-Хуанга.	8	2	2		4	5
В т.ч. текущий контроль	1				1	
Промежуточная аттестация – экзамен 45						

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.

При проведении занятий 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 от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы 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	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

<i>Вопрос</i>	<i>Код компетенции (согласно РПД)</i>
1. Спектральные представления детерминированных сигналов непрерывного и дискретного времен.	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4
2. Спектральные представления случайных стационарных сигналов непрерывного и дискретного времен.	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4
3. Периодограммный метод оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов непрерывного и дискретного времен.	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4
4. Коррелограммный метод оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов непрерывного и дискретного времен.	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4
5. Модель авторегрессии случайных сигналов дискретного времени и свойства ее спектра.	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4
6. Методы блочной оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов дискретного времени на основе авторегрессионной модели (алгоритм Юла-Уолкера).	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4
7. Перекрестные члены частотно-временных распределений и методы борьбы с ними. Распределение Цзуи-Уильямса. Сглаженные распределения.	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4
8. Линейная фильтрация во время-частотной области на примере распределения Вигнера-Вилля.	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4
9. Дискретное преобразование Вигнера-Вилля. Периодичность распределения Вигнера	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4
10. Определение непрерывного вейвлет преобразования. Примеры базисных функций вейвлет-преобразования и их свойства.	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4
11. Свойства вейвлет-преобразования. Частотно-временная локализация вейвлет-преобразования. Способы представления результатов вейвлет-преобразования.	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4

### 5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции «ПК-2.1»; «ПК-2.2»; «ПК-2.3»; «ПК-2.4»

<i>Примеры типовых контрольных заданий</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
1. Спектральные представления детерминированных сигналов непрерывного и дискретного времен.	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4
2. Спектральные представления случайных стационарных сигналов непрерывного и дискретного времен.	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-2.4
3. Периодограммный метод оценки спектральной плотности мощности	ПК-2.1; ПК-2.2;

**6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Современные методы цифрового спектрального анализа»**

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 (подключенный к сети Интернет, среда программирования LabView). 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 ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы» и уровню высшего образования Специалитет (утвержден приказом Минобрнауки России от 09.02.2018 № 95).

Автор (ы): к.ф.-м.н., доцент Сорокин И.С.

Рецензент: к.ф.-м.н., доцент Грязнова И.Ю.

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., проф. Мальцев А.А.

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