

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  
«14» декабря 2021 г. № 4

### **Рабочая программа дисциплины**

Современные методы 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 специального назначения  
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

---

Форма обучения  
очная  
(очная / очно-заочная / заочная)

---

Нижегород

2022 год

### 1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Данная дисциплина относится к вариативной части ОПОП и необязательна для освоения в 8 семестре 4 года обучения(электив).

#### Целями освоения дисциплины являются:

- знакомство студентов с современными методами цифровых спектральных измерений, включая классические и параметрические методы оценки спектральной плотности мощности (СПМ) случайных стационарных процессов;
- изучение методов спектральных измерений нестационарных сигналов;
- знакомство методами, реализующими высокое частотно-временное разрешение, в том числе, основанных на параметрических моделях процессов,
- знакомство с время-частотными преобразованиями сигналов, wavelet-преобразованием, преобразованием Гильберта-Хуанга.

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

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-15 способность проводить оптимизацию параметров радиотехнических систем (устройств) с использованием различных методов исследований (этап освоения – базовый)	З1 Знать методы расчета линейных цифровых фильтров  У1 Уметь проводить расчет линейных цифровых фильтров с заданными параметрами  В1 Владеть опытом проведения расчета линейных цифровых фильтров с заданными параметрами
ПСК-6.1 способность применять современные средства приема, анализа и обработки сигналов (этап освоения – базовый)	<u>Знать</u> : современные средства приема, анализа и обработки сигналов; <u>Уметь</u> : применять современные средства приема, анализа и обработки сигналов.

### 3. Структура и содержание дисциплины (модуля) «Современные методы спектрального анализа»

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, всего 144 часов, из которых 65 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем, 33 часа составляет самостоятельная работа обучающегося, 45 часов- контроль успеваемости.

### Содержание дисциплины (модуля)

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

#### **4. Образовательные технологии**

Реализация компетентного подхода предусматривает использование в учебном процессе следующих форм проведения занятий.

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.

В рамках данного учебного курса предусмотрены встречи с представителями российских и зарубежных компаний Intel, NokiaSiemensNetworks и др. с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся, решения прикладных задач с помощью компьютерных симуляций, стимулирования внеаудиторной работы.

#### **5. 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.

– во время лекций формулируются проблемы, которые студенты должны решить самостоятельно. На последующих лекциях проводится открытое обсуждение полученных результатов и даётся правильное решение.

– задания для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины (см. Раздел 6.4) выдаются студентам заранее. В случае необходимости проводятся индивидуальные консультации.

#### **6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования:

(ПК-15) способность проводить оптимизацию параметров радиотехнических систем (устройств) с использованием различных методов исследований

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать методы исследования и формы реализации дискретных линейных систем	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u>	Отсутстви	Наличие	Способно	Способно	Способно	Способно	Способно

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
Уметь проводить построение математических моделей дискретных линейных систем	ет способность решения стандартных задач	грубых ошибок при решении стандартных задач	сть решения основных стандартных задач с существенными ошибками	сть решения всех стандартных задач с незначительными погрешностями	сть решения всех стандартных задач без ошибок и погрешностей	сть решения стандартных и некоторых нестандартных задач	сть решения стандартных задач и широкого круга нестандартных задач
<u>Навыки</u> Владеть методами исследования дискретных линейных систем	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

(ПСК-6.1) способность применять современные средства приема, анализа и обработки сигналов

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать методы расчета линейных цифровых фильтров	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Уметь проводить расчет линейных цифровых фильтров с заданными параметрами	Отсутствует способность решения стандартных задач	Наличие грубых ошибок при решении стандартных задач	Способность решения основных стандартных задач с существенными ошибками	Способность решения всех стандартных задач с незначительными погрешностями	Способность решения всех стандартных задач без ошибок и погрешностей	Способность решения стандартных и некоторых нестандартных задач	Способность решения стандартных задач и широкого круга нестандартных задач
<u>Навыки</u> Владеть опытом проведения расчета линейных цифровых фильтров с заданными параметрами	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком
Шкала оценок по	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
проценту правильно выполненных контрольных заданий							

## 6.2. Описание шкал оценивания

Аттестация сформированности компетенций происходит в рамках промежуточного контроля при принятии зачёта в конце семестра.

Оценка	Уровень подготовки
Зачтено	Достаточный объём знаний, хорошее знание основных терминов и понятий курса. Продемонстрированы умение и навыки при решении практических задач.
Не зачтено	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент не способен решать практические задачи из числа рассмотренных на лекциях даже при наводящих вопросах экзаменатора.

## 6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- письменные и устные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- контрольные задания.

Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используется

- устное собеседование.

## 6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции

Примеры контрольных вопросов для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины (ПК-15):

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

Для оценки сформированности компетенции ПСК-6.1 служат практические контрольные задания (ПКЗ)Примеры типовых ПКЗ:

- 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.

#### **6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.**

- Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,
- Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

#### **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс] / Оппенгейм А., Шафер Р. - Издание 3-е, исправленное. - М. : Техносфера, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363295.html>
2. Методы спектрального оценивания случайных процессов [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / Шахтарин Б.И., Ковригин В.А. - 2-е изд, исправ. - М. : Горячая линия - Телеком, 2011. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html>
3. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB [Электронный ресурс] / Смоленцев Н. К. - М. : ДМК Пресс, 2009. - <http://www.studentlibrary.ru/book/5-94074-415-X.html>
4. Кривошеев В.И. Современные методы цифровой обработки сигналов (цифровой спектральный анализ). Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Современные системы мобильной цифровой связи, проблемы помехозащищенности и защиты информации». Нижний Новгород, ННГУ, 2006. - [http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\\_NNSU/Krivosheev\\_Book\\_DSA.pdf](http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF_NNSU/Krivosheev_Book_DSA.pdf)

б) дополнительная литература:

1. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Федосов В. П., Нестеренко А. К. - М. : ДМК Пресс, 2009. -

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5940743420.html>

2. Вейвлеты. От теории к практике [Электронный ресурс] / В.П. Дьяконов - М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2008. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5980031715.html>

3. Оконные функции для гармонического анализа сигналов [Электронный ресурс] / Дворкович В.П., Дворкович А.В. - М. : Техносфера, 2014. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363738.html>

4. Кривошеев В.И. Современные методы цифрового спектрального анализа: Авторегрессионное оценивание спектров. Практикум. ННГУ, 2010. - [http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\\_NNSU/Krivosheev\\_Book\\_DSA.pdf](http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF_NNSU/Krivosheev_Book_DSA.pdf)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <http://www.dsp-book.narod.ru>

2. <http://www.pselab.ru>

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

Доска, мел, мультимедийный проектор, компьютер, подключенный к сети Интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО/ВОс учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы»

Автор (ы): \_\_\_\_\_ к.ф.-м.н. Сорокин И.С.

Рецензент (ы) \_\_\_\_\_ Орлов И.Я

Заведующий кафедрой БСРФ, \_\_\_\_\_ профессор, д.ф.-м.н., Мальцев А.А.

**Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета**

**Протокол № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 года.**