

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 ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

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)

Нижний Новгород

2023 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 компетентностного 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

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

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.