МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное**

**образовательное учреждение высшего образования**

**«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

|  |
| --- |
| Радиофизический факультет |

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ

Декан\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Матросов В.В.

«30» августа 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

|  |
| --- |
| **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)

Специализация

«**Радиотехнические системы и комплексы специального назначения**»

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

|  |
| --- |
| **специалист** |

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

|  |
| --- |
| **очная** |

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2021

**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 с 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.

1. **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-2.** Способен проводить математическое и компьютерное моделирования, моделирование, а также экспериментальные исследования объектов и процессов в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и апробации перспективных технических решений  (этап освоения - базовый) | З1 (ПК-2) Знать основы моделирования и компьютерного проектирования радиоэлектронных средств, стандартные пакеты прикладных программ, ориентированных на решение научных и проектных задач радиоэлектроники.  З2 (ПК-2) Знать математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиоэлектронных средств  У1 (ПК-2) Уметь применять компьютерные системы и пакеты прикладных программ для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств.  У2 (ПК-2) Уметь проводить экспериментальные исследования в целях анализа и оптимизации параметров радио-электронных средств и апробации перспективных технических |

1. **Структура и содержание дисциплины (модуля) «Современные методы спектрального анализа»**

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего **72** часа, из которых **33** часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 1 час – мероприятия текущего контроля успеваемости), 1 час - мероприятия промежуточной аттестации, **39** часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

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 | 1 | 1 |  |  | 1 |  |
| Промежуточная аттестация – зачет | | | | | | |

**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, Nokia Siemens Networks 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.

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

* 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-2:* Способен проводить математическое и компьютерное моделирования, моделирование, а также экспериментальные исследования объектов и процессов в целях анализа и оптимизации параметров радиоэлектронных средств и апробации перспективных технических решений

(этап освоения – базовый)

| **Индикаторы компетенции** | **Критерии оценивания (дескрипторы)** | |
| --- | --- | --- |
| **Не зачтено** | **Зачтено** |
| Знает основы моделирования и компьютерного проектирования радиоэлектронных средств, стандартные пакеты прикладных программ, ориентированных на решение научных и проектных задач радиоэлектроники и математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиоэлектронных средств  Умеет применять компьютерные системы и пакеты прикладных программ для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств и проводить экспериментальные исследования в целях анализа и оптимизации параметров радио-электронных средств и апробации перспективных технических решений. | Не знает основы моделирования и компьютерного проектирования радиоэлектронных средств, стандартные пакеты прикладных программ, ориентированных на решение научных и проектных задач радиоэлектроники и математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиоэлектронных средств.  Не умеет применять компьютерные системы и пакеты прикладных программ для проектирования и моделирования радиоэлектронных средств и проводить экспериментальные исследования в целях анализа и оптимизации параметров радио-электронных средств и апробации перспективных технических решений | Знает и грамотно пользуется методами цифрового спектрального анализа. Умеет проводить практический анализ с применением радиотехнических устройств. Понимает и владеет спектральным анализом, как инструментом для решения задач специального назначения. |
| Шкала оценок по проценту правильных контрольных заданий | 0–50 % | 50–100% |

* **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. |

* **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-2):

* Спектральные представления детерминированных сигналов непрерывного и дискретного времен.
* Спектральные представления случайных стационарных сигналов непрерывного и дискретного времен.
* Периодограммный метод оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов непрерывного и дискретного времен.
* Коррелограммный метод оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов непрерывного и дискретного времен.
* Модель авторегрессии случайных сигналов дискретного времени и свойства ее спектра.
* Методы блочной оценки спектральной плотности мощности стационарных случайных сигналов дискретного времени на основе авторегрессионной модели (алгоритм Юла-Уолкера).
* Перекрестные члены частотно-временных распределений и методы борьбы с ними. Распределение Цзуи-Уильямса. Сглаженные распределения.
* Линейная фильтрация во время-частотной области на примере распределения Вигнера-Вилля.
* Дискретное преобразование Вигнера-Вилля. Периодичность распределения Вигнера
* Определение непрерывного вейвлет преобразования. Примеры базисных функций вейвлет-преобразования и их свойства.
* Свойства вейвлет-преобразования. Частотно-временная локализация вейвлет-преобразования. Способы представления результатов вейвлет-преобразования.

Для оценки сформированности компетенции ПК-2 служат практические контрольные задания (ПКЗ). Примеры типовых ПКЗ:

* для предложенных двух частот гармонических сигналов оценить частотное разрешение классических методов спектрального анализа;
* для сигнала заданной длительности и полосы частот оценить потенциальный выигрыш в частотно-временном разрешении при использовании преобразования Вигнера-Вилля по сравнению с классическими алгоритмами;
* 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:

* Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс] / Оппенгейм А., Шафер Р. - Издание 3-е, исправленное. - М. : Техносфера, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363295.html>
* Методы спектрального оценивания случайных процессов [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / Шахтарин Б.И., Ковригин В.А. - 2-е изд, исправ. - М. : Горячая линия - Телеком, 2011. - [httpHYPERLINK "http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html"://HYPERLINK "http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html"wwwHYPERLINK "http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html".HYPERLINK "http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html"studentlibraryHYPERLINK "http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html".HYPERLINK "http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html"ruHYPERLINK "http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html"/HYPERLINK "http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html"bookHYPERLINK "http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html"/HYPERLINK "http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html"ISBNHYPERLINK "http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html"9785991201681.HYPERLINK "http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html"html](http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201681.html)
* 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>
* 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. - [httpHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"://HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"wwwHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf".HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"rfHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf".HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"unnHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf".HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"ruHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"/HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"rusHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"/HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"chairsHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"/HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"kHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"7/HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"RFHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"\_HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"NNSUHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"/HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"KrivosheevHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"\_HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"BookHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"\_HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"DSAHYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf".HYPERLINK "http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF\_NNSU/Krivosheev\_Book\_DSA.pdf"pdf](http://www.rf.unn.ru/rus/chairs/k7/RF_NNSU/Krivosheev_Book_DSA.pdf)

б) дополнительная литература:

* 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>
* Вейвлеты. От теории к практике [Электронный ресурс] / В.П. Дьяконов - М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2008. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5980031715.html>
* Оконные функции для гармонического анализа сигналов [Электронный ресурс] / Дворкович В.П., Дворкович А.В. - М. : Техносфера, 2014. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363738.html>
* 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

* http://www. dsp-book.narod.ru
* 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/ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы»

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

Рецензент (ы) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_профессор Орлов И.Я

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

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

**Протокол 4/17 от 30.08.2021 года.**