

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ"

Кафедра № 23

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель образовательной программы
Старший преподаватель
(должность, уч. степень, звание)
Е.П. Виноградова
(инициалы, фамилия)
(подпись)
«17» февраля 2025 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Методы цифрового спектрального анализа»
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	11.04.04
Наименование направления подготовки/ специальности	Электроника и нанoeлектроника
Наименование направленности	Системы сбора, обработки и отображения информации
Форма обучения	очная
Год приема	2025

Санкт-Петербург– 2025

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

Доц. к.т.н. доц.
(должность, уч. степень, звание)

(подпись, дата)

Е.В. Силяков
(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 23
«17» февраля 2025 г, протокол № 6/25

Заведующий кафедрой № 23

д.т.н., проф.
(уч. степень, звание)

(подпись, дата)

А.Р. Бестугин
(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института №2 по методической работе

доц. к.т.н., доц.
(должность, уч. степень, звание)

(подпись, дата)

Н.В. Марковская
(инициалы, фамилия)

Аннотация

Дисциплина «Методы цифрового спектрального анализа» входит в образовательную программу высшего образования – программу магистратуры по направлению подготовки/ специальности 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника» направленности «Системы сбора, обработки и отображения информации». Дисциплина реализуется кафедрой «№23».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

ПК-1 «Способен осуществлять сопровождение работ по проекту, контроль требований технического задания на аналоговые сложно-функциональные блоки»

ПК-5 «Способен анализировать состояние научно-технической проблемы»

ПК-6 «Готов формулировать цели и задачи научных исследований, обладает способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач»

ПК-8 «Способен осуществлять проектирование и сопровождение интегральных схем, систем на кристалле на системном, функциональном, логическом и физическом уровнях описания»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с одним из важнейших направлений теории и практики цифровой обработки сигналов: математических методах выявления скрытых периодичностей в данных и практических приложениях методов цифрового спектрального анализа.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа обучающегося.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме зачета.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

Язык обучения по дисциплине русский

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Предназначение данной дисциплины заключается в ознакомлении обучающегося с разнообразными приемами одного из мощнейших средств анализа временных рядов с целью выявления скрытых периодичностей и закономерностей.

1.2. Дисциплина входит в состав части, формируемой участниками образовательных отношений, образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные компетенции	ПК-1 Способен осуществлять сопровождение работ по проекту, контроль требований технического задания на аналоговые сложно-функциональные блоки	ПК-1.У.2 уметь выбирать и описывать модели электронной компонентной базы на различных этапах проектирования с учетом выбранного маршрута проектирования
Профессиональные компетенции	ПК-5 Способен анализировать состояние научно-технической проблемы	ПК-5.3.1 знать принципы и методологию проведения исследований в области электроники и нанoeлектроники
Профессиональные компетенции	ПК-6 Готов формулировать цели и задачи научных исследований, обладает способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПК-6.3.1 знать принципы построения изделий электроники и нанoeлектроники и физические принципы их функционирования ПК-6.У.1 уметь применять методы и средства проведения научных исследований и опытно-конструкторских разработок ПК-6.В.1 владеть навыками выбора методики проведения научных исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники с учетом физических эффектов в электронных приборах, анализа полученных результатов
Профессиональные компетенции	ПК-8 Способен осуществлять проектирование и сопровождение интегральных схем,	ПК-8.3.1 знать маршрут разработки и верификации цифровых устройств, проблемы обеспечения соответствия результатов функционально-логического моделирования и схемотехнического моделирования изделий

	систем на кристалле на системном, функциональном, логическом и физическом уровнях описания	электроники, специализированные системы автоматизированного проектирования для моделирования и верификация моделей, написанных на языках описания аппаратуры ПК-8.У.1 уметь проводить тестирование цифровых устройств с целью сравнения результатов функционально-логического моделирования и схемотехнического моделирования
--	--	---

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- «Математика. Математический анализ»,
- «Математическое моделирование устройств и систем».

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и используются при изучении других дисциплин:

- «Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и могут использоваться при проведении магистерского диссертационного исследования».

3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам
		№3
1	2	3
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)	3/ 108	3/ 108
Из них часов практической подготовки	17	17
Аудиторные занятия, всего час.	34	34
в том числе:		
лекции (Л), (час)	17	17
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)		
лабораторные работы (ЛР), (час)	17	17
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)		
Самостоятельная работа, всего (час)	74	74
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.**)	Зачет	Зачет

Примечание: ** кандидатский экзамен

4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
Семестр 3					
Раздел 1. Классические методы спектрального оценивания. Тема 1.1. Дискретное преобразование Фурье. Тема 1.2. Алгоритмы быстрого преобразования Фурье. Тема 1.3. Оценки функции спектральной плотности мощности.	4		4		24
Раздел 2. Спектральное оценивание с использованием параметрических моделей временных рядов. Тема 2.1. Динамические модели временных последовательностей Тема 2.2. Авторегрессионные спектральные оценки. Тема 2.3. Спектральное оценивание на основе моделей авторегрессии-скользящего среднего.	8		8		24
Раздел 3. Методы цифрового спектрального анализа, для моделей в виде смеси квазидетерминированных сигналов с шумом. Тема 3.1. Метод Прони. Тема 3.2. Метод гармонического разложения Писаренко.	5		5		26
Итого в семестре:	17		17		74
Итого	17	0	17	0	74

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
Раздел 1	Раздел 1. Классические методы спектрального оценивания. Тема 1.1. Дискретное преобразование Фурье. Соотношения между непрерывным и дискретным преобразованиями Фурье. Масштабирование для определения мощности. Дополнение нулями. Свойства ДПФ вещественных цифровых последовательностей. Тема 1.2. Алгоритмы быстрого преобразования Фурье. Базовый принцип алгоритма БПФ. Операция “бабочка”. Вычислительная сложность. Алгоритм Винограда. Вычисление ДПФ на скользящем временном окне. Рекуррентная формула вычисления ДПФ. Тема 1.3. Оценки функции спектральной плотности мощности. Оценивание автокорреляции и взаимной корреляции.

	Коррелограммные методы оценки СПМ. Периодограммные методы оценки СПМ. Периодограмма Даньелла. Периодограмма Бартлетта. Периодограмма Уэлча. Комбинированные периодограммно-коррелограммные оценки. Разрешающая способность методов цифрового спектрального анализа. Спектральная утечка. Оконные функции. Главный лепесток. Уровень боковых лепестков спектра.
Раздел 2	Раздел 2. Спектральное оценивание с использованием параметрических моделей временных рядов. Тема 2.1. Динамические модели временных последовательностей. Авторегрессионные (АР) модели. Модели скользящего среднего (СС). Модели авторегрессии-скользящего среднего (АРСС). Соотношения между параметрами АР-, СС- и АРСС-моделей, связь с автокорреляционной последовательностью. Свойства АР-процесса. Авторегрессионные процессы с шумом наблюдения. Тема 2.2. Авторегрессионные спектральные оценки. Расчетные соотношения для авторегрессионного спектра. Спектральная факторизация. Уравнения Юла-Уолкера. Алгоритм Левинсона-Дарбина. Выбор порядка модели. Критерий Акаике. Оценивание мощности синусоидальных компонентов. Алгоритмы оценивания спектра на основе методов линейного предсказания. Оценивание коэффициентов отражения. Алгоритм Берга. Рекурсивное оценивание параметров авторегрессионной модели по методу максимального правдоподобия. Сравнительный анализ авторегрессионных и периодограммных спектральных оценок. Градиентные адаптивные авторегрессионные методы. Рекурсивные авторегрессионные методы. Тема 2.3. Спектральное оценивание на основе моделей авторегрессии-скользящего среднего. Оценивание параметров модели скользящего среднего. Раздельное оценивание параметров АР- и СС-моделей. Одновременное оценивание параметров модели АРСС. Метод Бокса-Дженкинса. Последовательный подход к оцениванию параметров модели АРСС. Свойства спектральной оценки на основе АРСС-модели.
Раздел 3	Раздел 3. Методы цифрового спектрального анализа, для моделей в виде смеси квазидетерминированных сигналов с шумом. Тема 3.1. Метод Прони. Модель процесса, принятая в методе Прони. Исходный метод спектрального анализа Прони. Одновременное оценивание параметров комплексных экспоненциальных функций. Метод наименьших квадратов Прони. Модифицированный метод Прони. Идентификация экспонент в шуме. Тема 3.2. Метод гармонического разложения Писаренко. Идентификация синусоид в шуме. Смешанные методы.

4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/ п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практическо й подготовки, (час)	№ раздел а дисциплины
Учебным планом не предусмотрено					
Всего					

4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/ п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость , (час)	Из них практическо й подготовки, (час)	№ раздел а дисциплины
Семестр 3				
1	Формирование временного ряда в формате аддитивной смеси гармонического сигнала с шумом	2	1	1
2	Дискретное преобразование Фурье и его свойства	2	1	1
3	Периодограммные оценки СПМ	4	2	2
4	Аutoreгрессионные спектральные оценки	4	2	2
5	Оценивание спектра по методу Писаренко	5	2	3
Всего		17		

4.5. Курсовое проектирование/ выполнение курсовой работы

Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 3, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	32	32
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	4	4
Домашнее задание (ДЗ)	34	34
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	4	4

Всего:	74	74
--------	----	----

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. 7-11.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий
Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.
Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр/ URL адрес	Библиографическая ссылка	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
[621.391 С 32]	Цифровая обработка сигналов: учебное пособие / В.А. Сериков, В.Р. Луцев; СПб: Изд-во ГУАП, 2014. - 110 с.	50
[519.1/.2 М28]	Марпл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. Пер. с англ. М.: Мир, 1990. - 584 с.	8
[517 X20]	Харкевич А.А. Спектры и анализ: монография - 4-е изд. - М.: Физматлит, 1990. - 236 с.	21
[621.391.26.037.27 2 О-75]	Основы цифровой обработки сигналов и математическое моделирование РЭС: методические указания к выполнению лабораторных работ /сост.: А.А. Монаков, А.М. Миролюбов. - СПб.: ГОУ ВПО "СПбГУАП", 2011. - 126 с.	84

7. Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»
Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.
Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
http://lib.aanet.ru/	Доступ в ЭБС «Лань», ЭБС «ZNANIUM», ЭБС «ЮРАЙТ» в соответствии с договором.

8. Перечень информационных технологий
8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.
Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

8.2. Перечень информационно-справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Лекционная аудитория	
2	Компьютерный класс	13-17

10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Зачет	Список вопросов; Тесты; Задачи.

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 – Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
«отлично» «зачтено»	– обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал; – уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; – опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; – умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; – делает выводы и обобщения; – свободно владеет системой специализированных понятий.

Оценка компетенции 5-балльная шкала	Характеристика сформированных компетенций
«хорошо» «зачтено»	– обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы; – не допускает существенных неточностей; – увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления; – аргументирует научные положения; – делает выводы и обобщения; – владеет системой специализированных понятий.
«удовлетворительно» «зачтено»	– обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы; – допускает несущественные ошибки и неточности; – испытывает затруднения в практическом применении знаний направления; – слабо аргументирует научные положения; – затрудняется в формулировании выводов и обобщений; – частично владеет системой специализированных понятий.
«неудовлетворительно» «не зачтено»	– обучающийся не усвоил значительной части программного материала; – допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении; – испытывает трудности в практическом применении знаний; – не может аргументировать научные положения; – не формулирует выводов и обобщений.

10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. Зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
1	Соотношения между непрерывным и дискретным преобразованиями Фурье. Свойства ДПФ цифровых последовательностей.	ПК-1.У.2 ПК-8.У.1
2	Базовый принцип алгоритма БПФ. Операция “бабочка”. Вычислительная сложность.	ПК-5.3.1
3	Вычисление ДПФ на скользящем временном окне.	ПК-5.3.1
4	Коррелограммные методы оценки СПМ.	ПК-5.3.1 ПК-6.3.1 ПК-8.У.1
5	Периодограммные методы оценки СПМ. Периодограмма Даньелла.	ПК-1.У.2
6	Периодограммные методы оценки СПМ. Периодограмма Бартлетта.	ПК-1.У.2
7	Периодограммные методы оценки СПМ. Периодограмма Уэлча.	ПК-1.У.2
8	Комбинированные периодограммно-коррелограммные оценки.	ПК-5.3.1
9	Разрешающая способность методов цифрового спектрального анализа.	ПК-5.3.1
10	Авторегрессионные (АР) модели и их свойства.	ПК-5.3.1

11	Модели скользящего среднего (СС) и их свойства.	ПК-5.3.1
12	Модели авторегрессии-скользящего среднего (АРСС) и их свойства.	ПК-5.3.1
13	Расчетные соотношения для авторегрессионного спектра. Спектральная факторизация.	ПК-1.У.2
14	Уравнения Юла-Уолкера. Алгоритм Левинсона-Дарбина.	ПК-1.У.2
15	Выбор порядка авторегрессионной модели	ПК-5.3.1 ПК-6.В.1
16	Алгоритм Берга.	ПК-1.У.2
17	Рекурсивное оценивание параметров авторегрессионной модели по методу максимального правдоподобия	ПК-5.3.1
18	Сравнительный анализ авторегрессионных и периодограммных спектральных оценок.	ПК-5.3.1 ПК-6.3.1
19	Оценивание параметров модели скользящего среднего. Метод Бокса-Дженкинса.	ПК-5.3.1 ПК-6.В.1
20	Метод спектрального анализа Прони и его модификации.	ПК-1.У.2
21	Метод гармонического разложения Писаренко.	ПК-1.У.2
22	Принципы разработки аппаратных средств для анализа спектральных характеристик процессов	ПК-6.У.1 ПК-8.У.1

Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
	Вопрос с выбором одного правильного ответа	
1	Какое из перечисленных свойств ДПФ позволяет сократить вычислительную сложность при использовании алгоритма БПФ? А) Линейность В) Симметрия С) Периодичность D) Свертка	ПК-1.У.2 ПК-8.У.1
2	Какой из методов оценки СПМ основан на усреднении периодограмм по сегментам данных? А) Периодограмма Бартлетта В) Периодограмма Уэлча С) Периодограмма Даньелла D) Коррелограммный метод Ответ: А) Периодограмма Бартлетта	ПК-5.3.1 ПК-6.3.1 ПК-1.У.2 ПК-8.У.1
3	Какой параметр определяет разрешающую способность периодограммных методов спектрального анализа? А) Длина выборки В) Частота дискретизации С) Шаг квантования	ПК-5.3.1 ПК-1.У.2

	D) Порядок модели	
4	Какое преобразование используется для факторизации спектра в авторегрессионных моделях? A) Z-преобразование B) Преобразование Лапласа C) Преобразование Гильберта D) Вейвлет-преобразование	ПК-1.У.2 ПК-8.У.1
5	Какой алгоритм используется для рекурсивного оценивания параметров АР-модели? A) Алгоритм Кули-Тьюки B) Алгоритм Левинсона-Дарбина C) Алгоритм Бокса-Дженкинса D) Алгоритм Прони	ПК-1.У.2
6	Какой метод спектрального анализа основан на разложении сигнала на экспоненциальные составляющие? A) Метод Писаренко B) Метод Прони C) Метод Уэлча D) Метод Бартлетта	ПК-1.У.2
7	Какой из методов оценки СПМ минимизирует влияние утечки спектра? A) Периодограмма Даньелла B) Периодограмма Бартлетта C) Периодограмма Уэлча D) Коррелограммный метод	ПК-5.3.1 ПК-6.3.1 ПК-1.У.2 ПК-8.У.1
8	Какой параметр в АР-модели определяет количество предыдущих отсчетов, используемых для предсказания текущего значения? A) Порядок модели B) Частота дискретизации C) Шаг квантования D) Дисперсия шума	ПК-5.3.1
9	Какой метод позволяет оценить параметры модели скользящего среднего (СС)? A) Метод Бокса-Дженкинса B) Алгоритм Левинсона-Дарбина C) Метод Прони D) Метод Писаренко	ПК-1.У.2
10	Какой из методов спектрального анализа наиболее эффективен для коротких временных рядов? A) Периодограмма Уэлча B) АР-моделирование C) Коррелограммный метод D) Периодограмма Даньелла	ПК-1.У.2 ПК-5.3.1
Вопросы с выбором нескольких правильных ответов		
1	Какие из перечисленных свойств справедливы для ДПФ? A) Линейность B) Симметрия C) Инвариантность к сдвигу D) Периодичность	ПК-1.У.2 ПК-8.У.1
2	Какие методы относятся к периодограммным оценкам СПМ? A) Периодограмма Бартлетта B) Периодограмма Уэлча	ПК-5.3.1 ПК-6.3.1 ПК-8.У.1

	С) Коррелограммный метод D) Метод Прони	
3	Какие параметры влияют на разрешающую способность спектрального анализа? А) Длина выборки В) Частота дискретизации С) Тип окна D) Порядок АР-модели	ПК-1.У.2 ПК-5.3.1
4	Какие алгоритмы используются для вычисления БПФ? А) Алгоритм Кули-Тьюки В) Алгоритм Левинсона-Дарбина С) Алгоритм Берга D) Алгоритм Прони	ПК-1.У.2 ПК-8.У.1
5	Какие методы позволяют оценить параметры АР-модели? А) Алгоритм Левинсона-Дарбина В) Метод Бокса-Дженкинса С) Метод максимального правдоподобия D) Метод Писаренко	ПК-5.3.1 ПК-6.В.1
6	Какие из перечисленных методов основаны на автокорреляционной функции? А) Коррелограммный метод В) Периодограмма Уэлча С) Метод Бартлетта D) Метод Прони	ПК-1.У.2
7	Какие из методов спектрального анализа подходят для нестационарных сигналов? А) Метод Писаренко В) АР-моделирование С) Вейвлет-анализ D) Коррелограммный метод	ПК-1.У.2
8	Какие из перечисленных методов минимизируют утечку спектра? А) Использование оконных функций В) Увеличение частоты дискретизации С) Усреднение периодограмм D) Увеличение порядка АР-модели	ПК-1.У.2 ПК-5.3.1
9	Какие из методов позволяют оценить спектр сигнала с высокой разрешающей способностью? А) АР-моделирование В) Периодограмма Уэлча С) Метод Прони D) Коррелограммный метод	ПК-1.У.2
10	Какие из перечисленных методов используются для анализа гармонических сигналов? А) Метод Писаренко В) Метод Прони С) Периодограмма Бартлетта D) Коррелограммный метод	ПК-1.У.2
Установите правильную последовательность		
1	Расположите этапы вычисления БПФ по алгоритму Кули-Тьюки: А) Разбиение последовательности на четные и нечетные части В) Рекурсивное вычисление ДПФ для подпоследовательностей С) Объединение результатов с использованием операции	ПК-1.У.2 ПК-8.У.1

	"бабочка"								
2	Расположите этапы построения АР-модели: А) Решение уравнений Юла-Уолкера В) Оценка автокорреляционной функции С) Выбор порядка модели		ПК-5.3.1 ПК-6.В.1						
3	Расположите этапы вычисления периодограммы Уэлча: А) Разбиение сигнала на перекрывающиеся сегменты В) Умножение каждого сегмента на оконную функцию С) Усреднение периодограмм сегментов		ПК-1.У.2						
4	Расположите этапы метода Бокса-Дженкинса: А) Идентификация модели В) Оценивание параметров С) Проверка адекватности модели		ПК-1.У.2						
5	Расположите этапы метода Прони: А) Построение системы уравнений для экспоненциальных компонент В) Решение системы линейных уравнений С) Оценка амплитуд и фаз компонент		ПК-1.У.2						
6	Расположите этапы вычисления ДПФ через БПФ по алгоритму Кули-Тьюки: А) Рекурсивное разбиение последовательности на подпоследовательности В) Применение операции "бабочка" для объединения результатов С) Вычисление ДПФ для коротких последовательностей		ПК-1.У.2 ПК-8.У.1						
7	Расположите этапы периодограммного метода оценки СПМ: А) Вычисление квадрата модуля ДПФ сигнала В) Нормировка результата на длину выборки С) Применение оконной функции к сигналу		ПК-5.3.1 ПК-6.3.1 ПК-8.У.1						
8	Расположите шаги алгоритма Левинсона-Дарбина для АР-моделирования: А) Вычисление коэффициентов отражения В) Обновление коэффициентов АР-модели С) Оценка автокорреляционной функции		ПК-5.3.1 ПК-6.В.1						
9	Расположите этапы коррелограммного метода оценки СПМ: А) Вычисление автокорреляционной функции (АКФ) В) Применение оконной функции к АКФ С) Вычисление ДПФ от оконной АКФ		ПК-5.3.1 ПК-6.3.1 ПК-8.У.1						
10	Расположите этапы метода Бартлетта для оценки СПМ: А) Разбиение сигнала на неперекрывающиеся сегменты В) Усреднение периодограмм всех сегментов С) Вычисление периодограммы для каждого сегмента		ПК-5.3.1 ПК-6.3.1 ПК-8.У.1						
	Установите соответствие								
1	Установите соответствие между методами и их описаниями: <table><tr><td>А) Метод Писаренко</td><td>1) Основан на разложении сигнала на экспоненциальные компоненты</td></tr><tr><td>В) Метод Прони</td><td>2) Использует автокорреляционную матрицу для оценки частот гармоник</td></tr><tr><td>С) Периодограмма Уэлча</td><td>3) Основан на усреднении модифицированных периодограмм</td></tr></table>		А) Метод Писаренко	1) Основан на разложении сигнала на экспоненциальные компоненты	В) Метод Прони	2) Использует автокорреляционную матрицу для оценки частот гармоник	С) Периодограмма Уэлча	3) Основан на усреднении модифицированных периодограмм	ПК-1.У.2
А) Метод Писаренко	1) Основан на разложении сигнала на экспоненциальные компоненты								
В) Метод Прони	2) Использует автокорреляционную матрицу для оценки частот гармоник								
С) Периодограмма Уэлча	3) Основан на усреднении модифицированных периодограмм								

2	Установите соответствие между свойствами и методами спектрального анализа:		ПК-5.3.1 ПК-6.В.1
	А) Высокая разрешающая способность	1) АР-моделирование	
	В) Минимизация утечки спектра	2) Периодограмма Уэлча	
	С) Устойчивость к шумам	3) Метод Писаренко	
3			
4	Установите соответствие между методами спектрального анализа и их ключевыми особенностями		ПК-1.У.2
	А) Метод Бартлетта	1) Использует минимальную собственную величину автокорреляционной матрицы	
	В) Метод Писаренко	2) Основан на усреднении периодограмм	
	С) Алгоритм Левинсона-Дарбина	3) Рекурсивное решение уравнений Юла-Уолкера для АР-модели	
5	Соотнесите методы оценки СПМ с их описаниями:		ПК-5.3.1 ПК-6.3.1 ПК-1.У.2
	А) Коррелограммный метод	1) Использует сглаживание периодограммы во временной области	
	В) Периодограмма Даньелла	2) Основан на вычислении ДПФ от автокорреляционной функции	
	С) Метод Уэлча	3) Применяет оконные функции к перекрывающимся сегментам	
6	Установите соответствие между алгоритмами и их назначением:		ПК-1.У.2 ПК-8.У.1
	А) Алгоритм Кули-Тьюки	1) Оценивание параметров моделей АРСС	
	В) Алгоритм Берга	2) Эффективное вычисление БПФ	
	С) Метод Бокса-Дженкинса	3) Рекурсивная оценка параметров АР-модели	
7	Соотнесите методы анализа с их разрешающей способностью:		ПК-6.У.1 ПК-8.У.1
	А) Классическая периодограмма	1) Высокое разрешение для коротких выборок	
	В) АР-моделирование	2) Низкое разрешение, зависит от длины окна	
	С) Метод Прони	3) Суперразрешение для экспоненциальных сигналов	
8	Установите соответствие между методами и их математическим аппаратом:		ПК-5.3.1 ПК-6.В.1
	А) Метод гармонического разложения	1) Разложение Вольда для стационарных процессов	
	В) Спектральная факторизация	2) Решение задачи на собственные значения	
	С) Уравнения Юла-Уолкера	3) Связь автокорреляции с АР-коэффициентами	
9	Соотнесите оконные функции с их свойствами:		ПК-5.3.1 ПК-6.3.1
	А) Прямоугольное окно	1) Минимальная ширина	

		главного лепестка	ПК-8.У.1
	В) Окно Хэмминга	2) Компромисс между шириной лепестка и уровнем боковых лепестков	
	С) Окно Блэкмана	3) Максимальное подавление боковых лепестков	
10	Соотнесите вычислительные методы с их сложностью:		ПК-5.3.1 ПК-1.У.2
	А) Прямое вычисление ДПФ	1) $O(N \log N)$	
	В) Алгоритм БПФ	2) $O(N^2)$	
	С) Метод Прони	3) $O(M^3)$, где М - число компонент	
Вопросы с открытым ответом			
1	Опишите принцип работы операции "бабочка" в алгоритме БПФ.		ПК-1.У.2 ПК-8.У.1
2	Объясните, как выбор порядка АР-модели влияет на оценку спектра.		ПК-5.3.1 ПК-6.В.1
3	Опишите преимущества и недостатки периодограммных методов по сравнению с АР-моделированием.		ПК-5.3.1 ПК-6.В.1
4	Как метод Уэлча минимизирует утечку спектра?		ПК-1.У.2
5	Опишите алгоритм Левинсона-Дарбина и его применение в спектральном анализе.		ПК-6.У.1 ПК-8.У.1 ПК-1.У.2

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
	Не предусмотрено

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала.

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;

- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Структура предоставления лекционного материала:

- Анализ проблемной ситуации. Постановка задач.
- Анализ методологических приемов решения поставленных задач.
- Рассмотрение решений поставленных задач на конкретных примерах.
- Анализ типовых ошибок, возникающих при решении аналогичных задач с другими исходными данными.
- Выводы и рекомендации по использованию рассмотренных методов.
- Ответы на вопросы слушателей.

11.2. Методические указания для обучающихся по участию в семинарах

Не предусмотрено

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий *(если предусмотрено учебным планом по данной дисциплине)*

Не предусмотрено

11.4. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ

В ходе выполнения лабораторных работ обучающийся должен углубить и закрепить знания, практические навыки, овладеть современной методикой и техникой эксперимента в соответствии с квалификационной характеристикой обучающегося. Выполнение лабораторных работ состоит из экспериментально-практической, расчетно-аналитической частей и контрольных мероприятий.

Выполнение лабораторных работ обучающимся является неотъемлемой частью изучения дисциплины, определяемой учебным планом, и относится к средствам, обеспечивающим решение следующих основных задач обучающегося:

- приобретение навыков исследования процессов, явлений и объектов, изучаемых в рамках данной дисциплины;
- закрепление, развитие и детализация теоретических знаний, полученных на лекциях;
- получение новой информации по изучаемой дисциплине;
- приобретение навыков самостоятельной работы с лабораторным оборудованием и приборами.

Задание и требования к проведению лабораторных работ

Учебно-методические материалы для проведения лабораторных работ утверждаются на заседании кафедры и выкладываются преподавателем в начале семестра в систему LMS и в личный кабинет студента.

Проведение лабораторных работ предполагает выполнение обучающимися обработки записанной реализации дискретизированного процесса, представленной в виде файла данных, с целью получения информации о периодических компонентах сигнала, содержащемся в реализации. Параметры и алгоритм обработки определяются обучающимся самостоятельно на основе методических указаний и навыков, полученных при выполнении практических работ. Файлы данных также загружаются в систему LMS преподавателем.

Структура и форма отчета о лабораторной работе

1. Титульный лист
2. Цель и задачи работы.
3. Теоретические сведения о методах решения поставленных задач.
4. Схема лабораторной установки
5. Результаты измерений и расчетов.
6. Графические зависимости.
7. Выводы.

Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

Отчет предоставляется индивидуально студентом. Должен соответствовать принятой структуре и форме. Таблицы и графики должны иметь названия. Выводы по работе должны быть сформулированы в форме ответов на поставленные в работе задачи, обязательно со ссылками на полученные расчетные значения и графические зависимости.

Требования к оформлению отчета приведены в соответствующем разделе «Нормативная документация» на официальном сайте Государственного университета аэрокосмического приборостроения

11.5. Методические указания для обучающихся по прохождению курсового проектирования/выполнения курсовой работы

Не предусмотрено.

11.6. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Для обучающихся по заочной форме обучения, самостоятельная работа может включать в себя контрольную работу.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине;

11.7. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

Одним из методов текущего контроля успеваемости является отслеживание выполнения требований к своевременности представления обучающимся в своем личном кабинете результатов выполнения полученных заданий по лабораторным работам. При нарушении заранее установленных предельных дат выполнения работ, начисляются штрафные баллы, которые снижают общее количество набранных за семестр рейтинговых баллов, по сумме которых производится промежуточная аттестация

11.8. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

- экзамен – форма оценки знаний, полученных обучающимся в процессе изучения всей дисциплины или ее части, навыков самостоятельной работы, способности применять их для решения практических задач. Экзамен, как правило, проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».
- зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся в ходе изучения учебной дисциплины в целом или промежуточная (по окончании семестра) оценка знаний обучающимся по отдельным разделам дисциплины с аттестационной оценкой «зачтено» или «не зачтено».
- дифференцированный зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся при изучении дисциплины, при выполнении курсовых проектов, курсовых работ, научно-исследовательских работ и прохождении практик с аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Итоговая аттестация производится по сумме набранных рейтинговых баллов по следующей шкале соответствия:

- от 0 до 54 баллов – “не зачтено”;
- 55 баллов и более – “зачтено”.

Система оценок при проведении текущего контроля и промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с руководящим документом организации РДО ГУАП. СМК 3.76 «Положение о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов и аспирантов, обучающихся по образовательным программам высшего образования в ГУАП» <https://docs.guap.ru/smk/3.76.pdf>.

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой