

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 4 от 26.04.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Математические методы оптимальной обработки сигналов

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

09.04.02 - Информационные системы и технологии

Направленность образовательной программы

Информационные технологии в системах космической связи и дистанционного
зондирования Земли

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.02 Математические методы оптимальной обработки сигналов относится к обязательной части образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
УК-2: Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	<p>УК-2.1: Знать: этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами</p> <p>УК-2.2: Уметь: работать в коллективе, разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла</p> <p>УК-2.3: Владеть: методиками разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта</p>	<p>УК-2.1:</p> <p>Знать: математический аппарат, необходимый для решения профессиональных задач на различных этапах разработки и реализации проектов в области информационных систем и технологий и смежных с ней дисциплинах.</p> <p>Знать: современное состояние науки и техники в области применения методов оптимальной обработки сигналов.</p> <p>УК-2.2:</p> <p>Уметь: работать в команде при совместном проведении работ, направленных на разработку алгоритмов и их исследование.</p> <p>Уметь: ставить конкретные задачи обработки информации в корректной форме и решать их, опираясь на оптимальные методы описания и модели сигналов, шумов и помех.</p> <p>Уметь: разрабатывать проект с учетом анализа различных вариантов оптимальной обработки сигналов.</p>	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

		<p>УК-2.3:</p> <p>Владеть: навыками проведения исследования влияния различных факторов на устойчивость алгоритмов оптимальной обработки сигналов.</p>		
<p>ОПК-1: Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте;</p>	<p>ОПК-1.1: Знать: математические, естественнонаучные и социально-экономические методы для использования в профессиональной деятельности</p> <p>ОПК-1.2: Уметь: решать нестандартные профессиональные задачи, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте, с применением математических, естественнонаучных, социально-экономических и профессиональных знаний</p> <p>ОПК-1.3: Иметь навыки: теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте</p>	<p>ОПК-1.1:</p> <p>Знать: теоретические основы и математический аппарат при решении конкретных научных задач своей профессиональной деятельности.</p> <p>Знать: оптимальные методы обработки сигналов в информационных и радиотехнических измерительных системах.</p> <p>ОПК-1.2:</p> <p>Уметь: использовать теоретические основы и соответствующий аппарат при проведении компьютерного моделирования и исследования влияния различных факторов на устойчивость алгоритмов оптимальной обработки сигналов.</p> <p>Уметь: использовать полученные знания при проектировании и эксплуатации программно-аппаратных комплексов информационных систем.</p> <p>ОПК-1.3:</p> <p>Владеть: методами компьютерного моделирования, исследования характеристик и методами статистической обработки и оценивания параметров сигналов.</p>	Практическое задание	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p>
<p>ОПК-3: Способен анализировать профессиональную</p>	<p>ОПК-3.1: Знать: принципы, методы и средства анализа и структурирования</p>	<p>ОПК-3.1:</p> <p>Знать: основы проведения имитационного</p>	Собеседование	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные</p>

информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями;	<p>профессиональной информации</p> <p>ОПК-3.2: Уметь: анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров</p> <p>ОПК-3.3: Иметь навыки: подготовки научных докладов, публикаций и аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями</p>	<p>математического моделирования, исследования и анализа характеристик алгоритмов обработки сигналов.</p> <p>ОПК-3.2: меть: применять полученные теоретические знания и математический аппарат специальных разделов математики при анализе научно-технической литературы, для решения теоретических и экспериментальных задач в области оптимальной обработки сигналов.</p> <p>ОПК-3.3: Владеть соответствующим математический аппаратом при проведении аналитического анализа и анализа результатов компьютерного моделирования. Владеть навыками подготовки и составления отчетов, оформления результатов в графическом и текстовом форматах.</p>		вопросы
---	---	---	--	---------

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	6
Часов по учебному плану	216
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	121
Промежуточная аттестация	45
	Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Тема 1. Введение. Основные понятия теории обнаружения и оценивания параметров сигналов	15	1	4	5	10
Тема 2. Основы статистической теории обнаружения и оценки параметров сигнала	15	1	4	5	10
Тема 3. Оценивание параметров сигналов.	22	2	4	6	16
Тема 4. Оценки максимального правдоподобия.	22	2	4	6	16
Тема 5. Синтез оптимальных устройств обработки сигналов.	22	2	4	6	16
Тема 6. Оптимальная обработка пространственно-временных сигналов.	24	4	4	8	16
Тема 7. Методы решения задач определения местоположения источника излучения.	22	2	4	6	16
Тема 8. Оценивание радионавигационных параметров в сигналах в задачах определения местоположения.	27	2	4	6	21
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	216	16	32	50	121

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение.

1.1. Понятия сигналов, шумов и помех.

1.2. Основные характеристики сигналов. Спектральные и корреляционные характеристики сигналов и шумов. Соотношение неопределенности.

1.3. Основные модели сигналов и помех в радиотехнических системах.

1.4. Простые и сложные сигналы. Кодовые сигналы. Сверхширокополосные сигналы. Особенности распространения сигналов спутниковых систем связи.

1.5. Понятие системы обработки сигналов.

2. Основы статистической теории обнаружения и оценки параметров сигнала.

2.1. Постановка задачи обнаружения.

2.2. Различение сигналов. Проверка статистических гипотез.

2.3. Критерии оптимального обнаружения сигналов.

2.4. Критерии, основанные на минимизации среднего риска. Критерий Неймана-Пирсона.

3. Оценивание параметров сигналов.

3.1. Оценивание параметров сигналов как расширение задачи оптимального обнаружения.

Формализованная модель оценивания параметров сигналов.

3.2. Байесовский подход к задаче оптимального оценивания.

- 3.3. Методы оптимального обнаружения сигналов на фоне гауссовых помех.
- 3.4. Спектрально - корреляционный анализ случайных процессов.
- 3.5. Обнаружение сигналов при негауссовых помехах.
- 3.6. Границы Крамера-Рао для дисперсий, эффективные оценки.
- 4. Оценки максимального правдоподобия.
- 4.1 Метод максимального правдоподобия.
- 4.2. Отношение правдоподобия в случае ограниченного по частоте гауссового шума.
- 4.3. Обнаружение детерминированных сигналов.
- 4.4. Обнаружение сигналов со случайными параметрами.
- 4.5. Обобщенная схема обнаружителя сигналов
- 4.6. Основные показатели эффективности обнаружения.
- 4.7. Выигрыш в отношении сигнал-помеха за счет оптимальной обработки сигналов.
- 4.8. Связь байесовского оценивания с методами максимума апостериорной вероятности и максимального правдоподобия.
- 5. Синтез оптимальных устройств обработки сигналов.
- 5.1. Коррелятор и согласованный фильтр в структуре оптимального обнаружителя.
- 5.2. Задача оптимальной фильтрации. Согласованный фильтр.
- 5.3. Структурные схемы корреляционных приемников. Обобщенный оптимальный коррелятор.
- 5.4. Оценивание энергетических параметров. Оценивание амплитуды известного сигнала.
- 5.5. Оценивание неэнергетических параметров. Оценивание начальной фазы сигнала.
- 5.6. Совместное оценивание амплитуды и фазы радиосигнала.
- 5.7. Потенциальная точность оценивания энергетических и неэнергетических параметров сигналов.
- 6. Оптимальная обработка пространственно-временных сигналов.
- 6.1. Модель сигналов в элементах антенной решетки.
- 6.2. Формирование диаграмм направленности антенных решеток.
- 6.3. Адаптивные антенные решетки.
- 6.4. Максимально-правдоподобная оценка корреляционной матрицы сигнала.
- 6.5. Непараметрические методы оценки углового положения источника излучения.
- 6.6. Методы улучшения углового разрешения.
- 7. Методы решения задач определения местоположения источника излучения.
- 7.1. Радионавигационные параметры.
- 7.2. Дальномерный метод.
- 7.3. Угломерный метод.
- 7.4. Разностно-дальномерный метод.
- 7.5. Разностно-доплеровский метод.
- 7.6. Методы моноимпульсной однопозиционной пеленгации.
- 7.7. Оценка точности результатов определения местоположения источника излучения.
- 8. Оценивание радионавигационных параметров в сигналах в задачах определения местоположения.
- 8.1. Оценка пеленга (угловой координаты) двухканальным фазовым измерителем.
- 8.2. Оценивание времени запаздывания и смещения несущей частоты сигнала.
- 8.3. Совместная оценка времени запаздывания и смещения частоты сигналов.
- 8.4. Разрешение по времени запаздывания. Разрешение по запаздыванию и частоте.
- 8.4. Совместная оценка времени запаздывания и смещения частоты сигналов.
- 8.5. Частотно-временная функции неопределенности.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов осуществляется в следующих формах:

- Работа с компьютерными обучающими программами, электронными учебниками, тестовыми системами.
- Использование профессиональных прикладных программ моделирования физических процессов и методов обработки данных.
- Использование Интернет-ресурсов, электронных библиотек, распределенных и централизованных издательских систем.
- Использование открытых форм дистанционного обучения с использованием Интернета.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции УК-2:

1. Способы описания случайных и детерминированных сигналов
2. Модели случайных процессов.
3. Вероятностное описание случайных сигналов.
4. Спектральные и корреляционные характеристики сигналов и помех.
5. Особенности сверхширокополосные сигналов.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-3:

1. Различение сигналов. Проверка статистических гипотез.
2. Критерии оптимального обнаружения сигналов.
3. Методы оптимального обнаружения сигналов на фоне гауссовых помех.
4. Потенциальная точность оценивания энергетических и неэнергетических параметров сигналов.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько не грубых ошибок.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

Задание 1: моделирование сигналов с АМ, ФМ, КАМ и ЧМ манипуляцией. Оценивание эквивалентной ширины полосы сигнала. Исследование изменения ширины спектральной полосы сигнала в зависимости от параметров модуляции.

Задание 2. Оценка временной задержки сигналов при многоканальном распространении на основе метода максимального правдоподобия.

Задание 3. Моделирование ФМ4 сигнала в IQ-компонентах. Расширение спектра сигнала модулированием чиповыми последовательностями Голда. Декодирование ФМ4 сигнала при помощи согласованной фильтрации.

Задание 4. Оценка временной задержки сигналов при многоканальном распространении в условиях априорной неопределённости несущей частоты на основе обобщённого метода максимального правдоподобия. Исследование устойчивости алгоритма оценки взаимной временной задержки сигналов в зависимости от доплеровского смещения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень умений в объеме, соответствующем программе подготовки. Полностью выполнено не менее 2-х заданий.
не зачтено	Выполнено не более 1 задания.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несуществе	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	ответа			ошибок	нных ошибок		
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции УК-2

1. Модели случайных процессов: гауссовский процесс, винеровский процесс белый шум, марковские случайные процессы.
1. Гауссовский белый шум, функционал плотности вероятности.
2. Спектральные и корреляционные характеристики сигналов и помех.
3. Простые и сложные сигналы и их применение. Кодовые сигналы. Сверхширокополосные сигналы.
4. Особенности распространения сигналов спутниковых систем связи.
5. Байесовский риск при обнаружении сигналов.
6. Обнаружение полностью известного сигнала.
7. Оценки максимального правдоподобия.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Согласованный фильтр и коррелятор.
2. Критерий оптимальности Неймана-Пирсона.
3. Обнаружение сигналов со случайными параметрами.
4. Обнаружение радиосигнала со случайной фазой.
5. Обнаружение радиосигнала со случайными амплитудой и фазой.
6. Различение радиосигналов со случайными начальными фазами.
7. Методы определения угла (пеленга) на источник излучения сигналов.
8. Оценка амплитуды полностью известного сигнала.

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

1. Границы Крамера-Рао для дисперсий оценок параметров сигналов.
2. Регистрация сигналов в антенных решетках. Модель сигналов в элементах антенной решетки.
3. Методы оценки углового положения источника излучения.
4. Разностно-дальномерный метод определения местоположения источника излучения.
5. Радионавигационные параметры.
6. Оценка точности результатов определения местоположения источника излучения.
7. Оптимальная оценка времени прихода и частоты радиосигнала.
8. Понятие функции неопределенности радиосигналов.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Отличная подготовка. Студент полностью выполнил практические задания, отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
отлично	Отличная подготовка. Студент полностью выполнил практические задания,

Оценка	Критерии оценивания
	отвечает полностью на вопросы билета, самостоятельно решает задачу в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы (задания) допускаются незначительные неточности.
очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент полностью выполнил практические задания, однако имеются отдельные замечания по представлению и интерпретации полученных результатов. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета, самостоятельно решает задачу и отвечает на вопросы (задания) преподавателя с небольшими неточностями.
хорошо	Хорошая подготовка. Студент полностью выполнил практический задания, однако имеются замечания по представлению и интерпретации полученных результатов. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета, решает задачу с наводящими вопросами преподавателя и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент выполнил не менее 2/3 практических заданий, имеются замечания по представлению и интерпретации полученных результатов. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, может решить типовую задачу с помощью преподавателя.
неудовлетворительно	Студент выполнил менее 1/3 практический заданий, показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
плохо	Студент не выполнил практические задания. Подготовка совершенно недостаточна.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Радиотехнические системы: учебник для вузов. / Под ред. Ю.М. Казаринова – М.: Высшая школа, 1990. – 496 с., 1 экз.
2. Радиотехнические системы : учебное пособие / Под общей редакцией М. Ю. Застела. - Москва : Юрайт, 2022. - 495 с., <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=816356&idb=0>.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2003. – 604 с., 1 экз.
4. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации : учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов. - М. : Радио и связь, 1992. - 303 с., 2 экз.
5. 4. Ермолаев В.Т., Флакман А.Г. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи. Монография. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2011. – 368 с., 68 экз.

Дополнительная литература:

1. Прокис Дж. Дж. Цифровая связь. - М. : Радио и связь, 2000. - 800 с., 3 экз.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных – М.: Мир, 1989. – 540 с., 1 экз.
3. Магазинникова А. Л. Основы цифровой обработки сигналов - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 132 с., <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=782746&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Среда разработки ПО MS Visual C++.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 09.04.02 - Информационные системы и технологии.

Автор(ы): Морозов Олег Александрович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Морозов Олег Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 15.04.2024, протокол № б/н.