

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 11.04.01 Радиотехника

Наименование образовательной программы: Радиотехнические системы

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЕМА СИГНАЛОВ В**  
**РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЕ**

<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.05.02.03
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	3 семестр - 3;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	108 часов
<b>Лекции</b>	3 семестр - 16 часов;
<b>Практические занятия</b>	3 семестр - 16 часов;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>Самостоятельная работа</b>	3 семестр - 75,7 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> <b>Коллоквиум</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	3 семестр - 0,3 часа;

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шатилов А.Ю.
	Идентификатор	Re9a563c9-ShatilovAY-e2efc2d7

А.Ю. Шатилов

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Комаров А.А.
	Идентификатор	R8495daf1-KomarovAIA-eada3f0e

А.А. Комаров

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Комаров А.А.
	Идентификатор	R8495daf1-KomarovAIA-eada3f0e

А.А. Комаров

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** состоит в изучении методов и алгоритмов оптимальной обработки навигационных сигналов в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем

### Задачи дисциплины

- изучение методов оптимальной обработки навигационных сигналов в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем;
- изучение алгоритмов оптимальной обработки навигационных сигналов в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем;
- проведение анализа процессов, происходящих в аппаратуре потребителей СРНС;
- приобретение знаний и умений, позволяющих самостоятельно применять методы синтеза аппаратуры потребителей СРНС и отдельных ее подсистем.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен проводить исследования в целях совершенствования радиоэлектронных систем	ИД-3 <sub>ПК-1</sub> Разрабатывает алгоритмы и проводит исследования в целях совершенствования функциональных узлов радиоэлектронных систем	знать: - методы и алгоритмы имитационного моделирования процессов в оптимальных устройствах обработки; - алгоритмы оптимальной обработки сигналов в аппаратуре потребителей СРНС и критерии для синтеза оптимальных алгоритмов обработки.  уметь: - применять полученную информацию при разработке алгоритмов обработки сигналов в аппаратуре СРНС; - применять статистические методы анализа радиотехнических систем и устройств для решения задач обработки сигналов в аппаратуре потребителей; - применять методы статистического синтеза для решения задач обработки сигналов в аппаратуре потребителей.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радиотехнические системы (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.01 Радиотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать теорию вероятностей и математическую статистику в объеме пройденных курсов высшей математики
- знать линейную алгебру в объеме пройденных курсов высшей математики
- знать радиоавтоматику в объеме одноименного курса
- знать основы радиотехнических цепей и сигналов, понятия спектральной плотности мощности, автокорреляционной и взаимно корреляционной функций

- знать численные методы решения нелинейных уравнений
- уметь анализировать и упрощать векторно-матричные выражения
- уметь программировать, моделировать алгоритмы и внешние воздействия
- уметь искать необходимую информацию в Интернете

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Статистическое описание сигналов, событий и процессов	13	3	2	-	2	-	-	-	-	-	9	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Статистическое описание сигналов, событий и процессов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Статистическое описание сигналов, событий и процессов"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], стр. 6-15 [5], стр. 13-45, 51-69</p>
1.1	Статистическое описание сигналов, событий и процессов	13		2	-	2	-	-	-	-	-	9	-	
2	Основы теории статистических решений	13		2	-	2	-	-	-	-	-	9	-	
2.1	Основы теории статистических решений	13		2	-	2	-	-	-	-	-	9	-	
3	Обнаружение	13		2	-	2	-	-	-	-	-	9	-	<b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b>



													<b><u>источников:</u></b> [2], стр. 11-16 [5], стр. 158-201	
5	Оптимальная линейная фильтрация	12	2	-	2	-	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу
5.1	Оптимальная линейная фильтрация	12	2	-	2	-	-	-	-	-	-	8	-	Оптимальная линейная фильтрация и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Оптимальная линейная фильтрация" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Оптимальная линейная фильтрация" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 16-25 [3], стр. 158-193 [4], стр.109-120 [5], стр. 223-225, 257-266
6	Оптимальная нелинейная фильтрация	13	3	-	3	-	-	-	-	-	-	7	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу
6.1	Оптимальная нелинейная фильтрация	13	3	-	3	-	-	-	-	-	-	7	-	Оптимальная нелинейная фильтрация и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Оптимальная нелинейная фильтрация" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Оптимальная нелинейная фильтрация" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 25-36 [3], стр. 136-156

													[4], стр. 134-180 [5], стр. 223-225, 292-309	
7	Оптимальная комплексная фильтрация	13	3	-	3	-	-	-	-	-	-	7	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Оптимальная комплексная фильтрация и подготовка к контрольной работе
7.1	Оптимальная комплексная фильтрация	13	3	-	3	-	-	-	-	-	-	7	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Оптимальная комплексная фильтрация" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение</u></b> <b><u>теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Оптимальная комплексная фильтрация" <b><u>Изучение материалов литературных</u></b> <b><u>источников:</u></b> [1], стр. 136-142 [2], стр. 37-42 [3], стр. 642-669 [4], стр. 181-216 [5], стр. 344-349
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	108.0	16	-	16	-	-	-	-	-	0.3	58	17.7	
	Итого за семестр	108.0	16	-	16	-	-	-	-	-	0.3	75.7		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Статистическое описание сигналов, событий и процессов

#### 1.1. Статистическое описание сигналов, событий и процессов

Плотности вероятности. Корреляционные функции. Спектральные плотности мощности. Понятие и описание многомерных случайных величин. Совместная и условная плотность вероятности.

### 2. Основы теории статистических решений

#### 2.1. Основы теории статистических решений

Функция потерь. Средний и апостериорный риск. Байесовские решающие правила.

### 3. Обнаружение сигналов

#### 3.1. Обнаружение сигналов

Обнаружение навигационных сигналов с известной и случайной фазой. Оптимальный обнаружитель на основе коррелятора.

### 4. Оценка параметров сигнала

#### 4.1. Оценка параметров сигнала

Метод максимального правдоподобия. Решение уравнения правдоподобия методом дискриминаторов. Потенциальная точность оценок максимального правдоподобия: основные соотношения, нижняя граница Рао-Крамера. Потенциальная точность оценок амплитуды сигнала, фазы сигнала, задержки огибающей, задержки сигнала по фазе, доплеровского смещения частоты, совместной оценки амплитуды и фазы сигнала (применительно к сигналам СРНС).

### 5. Оптимальная линейная фильтрация

#### 5.1. Оптимальная линейная фильтрация

Основные положения теории оптимальной фильтрации при приеме навигационных сигналов. Апостериорная плотность вероятности: определение, обобщенное описание рекуррентными уравнениями. Уравнения фильтра Калмана. Оптимальный дискриминатор и оптимальный фильтр в обобщенной оптимальной следящей системе. Методика использования теории оптимальной линейной фильтрации для синтеза сглаживающих фильтров следящих систем.

### 6. Оптимальная нелинейная фильтрация

#### 6.1. Оптимальная нелинейная фильтрация

Уравнения расширенного фильтра Калмана. Синтез оптимальных систем слежения за фазой, частотой и амплитудой радионавигационного сигнала.

### 7. Оптимальная комплексная фильтрация

#### 7.1. Оптимальная комплексная фильтрация

Синтез оптимальных алгоритмов комплексной обработки сигналов и информации. Описание инерциальных датчиков движения объекта и инерциальных навигационных систем.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Статистические модели описание сигналов и процессов;
2. Анализ обнаружителей сигналов и алгоритмов;
3. Синтез алгоритмов оценки параметров сигналов;
4. Синтез и анализ линейных систем фильтрации;
5. Синтез и анализ нелинейных систем фильтрации;
6. Синтез и анализ комплексных систем фильтрации.

### 3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

### 3.5 Консультации

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Статистическое описание сигналов, событий и процессов"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы теории статистических решений"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Обнаружение сигналов"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Оценка параметров сигнала"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Оптимальная линейная фильтрация"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Оптимальная нелинейная фильтрация"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Оптимальная комплексная фильтрация"

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Статистическое описание сигналов, событий и процессов"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основы теории статистических решений"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Обнаружение сигналов"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Оценка параметров сигнала"
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Оптимальная линейная фильтрация"
6. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Оптимальная нелинейная фильтрация"
7. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Оптимальная комплексная фильтрация"

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)							Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7		
<b>Знать:</b>										
алгоритмы оптимальной обработки сигналов в аппаратуре потребителей СРНС и критерии для синтеза оптимальных алгоритмов обработки	ИД-3ПК-1	+	+	+	+					Контрольная работа/Оценка параметров сигнала
методы и алгоритмы имитационного моделирования процессов в оптимальных устройствах обработки	ИД-3ПК-1	+								Коллоквиум/Векторно-матричное описание марковских процессов
<b>Уметь:</b>										
применять методы статистического синтеза для решения задач обработки сигналов в аппаратуре потребителей	ИД-3ПК-1	+	+				+			Контрольная работа/Оптимальная линейная фильтрация
применять статистические методы анализа радиотехнических систем и устройств для решения задач обработки сигналов в аппаратуре потребителей	ИД-3ПК-1	+	+						+	Контрольная работа/Оптимальная комплексная фильтрация
применять полученную информацию при разработке алгоритмов обработки сигналов в аппаратуре СРНС	ИД-3ПК-1	+	+					+		Контрольная работа/Оптимальная нелинейная фильтрация

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**3 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Оптимальная комплексная фильтрация (Контрольная работа)
2. Оптимальная линейная фильтрация (Контрольная работа)
3. Оптимальная нелинейная фильтрация (Контрольная работа)
4. Оценка параметров сигнала (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Векторно-матричное описание марковских процессов (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и зачетной составляющих

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. В. Н. Тяпкин, Е. Н. Гарин- "Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС", Издательство: "Сибирский федеральный университет (СФУ)", Красноярск, 2012 - (260 с.) <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229187>;
2. Шатилов, А. Ю. Радионавигационные системы : задачник по курсам "Методы оптимального приема сигналов в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем" и "Особенности спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo" по направлению "Радиоэлектронные системы и комплексы" / А. Ю. Шатилов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 59 с. - ISBN 978-5-7046-2000-6 . <http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=10317>;
3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Р. В. Бакитько, [и др.] ; Ред. А. И. Перов, В. Н. Харисов . – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Радиотехника, 2010 . – 800 с. - ISBN 978-5-88070-251-0 .;
4. Перов, А. И. Методы и алгоритмы оптимального приема сигналов в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем : учебное пособие для вузов по направлению 210601 "Радиоэлектронные системы и комплексы" / А. И. Перов . – М. : Радиотехника, 2012 . – 240 с. - ISBN 978-5-88070-031-8 .;

5. Перов, А. И. Статистическая теория радиотехнических систем : Учебное пособие для вузов по специальности 200700 "Радиотехника" направления 654200 "Радиотехника" / А. И. Перов . – М. : Радиотехника, 2003 . – 400 с. - ISBN 5-931080-47-3 ..

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. Libre Office;
6. ОС Linux;
7. GNU Octave.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Ж-400д/10а, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, шкаф для одежды, доска меловая, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Ж-400д/10а, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, шкаф для одежды, доска меловая, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Ж-400д/10а, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, шкаф для одежды, доска меловая, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
	Ж-400/7, Кафедральная вычислительная лаборатория	стол компьютерный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Ж-400д/10а, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, шкаф для одежды, доска меловая, кондиционер

Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ж-400/9, Прочее каф. "РТС"	стеллаж для хранения книг, стул, книги, учебники, пособия
--	----------------------------	---

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Методы оптимального приема сигналов в радионавигационной аппаратуре

(название дисциплины)

### 3 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1 Векторно-матричное описание марковских процессов (Коллоквиум)

КМ-2 Оценка параметров сигнала (Контрольная работа)

КМ-3 Оптимальная линейная фильтрация (Контрольная работа)

КМ-4 Оптимальная нелинейная фильтрация (Контрольная работа)

КМ-5 Оптимальная комплексная фильтрация (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	3	7	11	13	15
1	Статистическое описание сигналов, событий и процессов						
1.1	Статистическое описание сигналов, событий и процессов		+	+	+	+	+
2	Основы теории статистических решений						
2.1	Основы теории статистических решений			+	+	+	+
3	Обнаружение сигналов						
3.1	Обнаружение сигналов			+			
4	Оценка параметров сигнала						
4.1	Оценка параметров сигнала			+			
5	Оптимальная линейная фильтрация						
5.1	Оптимальная линейная фильтрация				+		
6	Оптимальная нелинейная фильтрация						
6.1	Оптимальная нелинейная фильтрация					+	
7	Оптимальная комплексная фильтрация						
7.1	Оптимальная комплексная фильтрация						+
Вес КМ, %:			10	20	30	20	20

