

**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**  
**АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.01.01.03</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>2 семестр - 3; 3 семестр - 2; всего - 5</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>180 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>2 семестр - 16 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>2 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2 семестр - 75,7 часа; 3 семестр - 35,7 часа; всего - 111,4 часов</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>3 семестр - 35,7 часа;</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>3 семестр - 4 часа;</b>
<b>включая:</b>	
<b>Проверочная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>2 семестр - 0,3 часа;</b>
<b>Защита курсового проекта</b>	<b>3 семестр - 0,3 часа; всего - 0,6 часа</b>

**Москва 2025**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Глухов О.В.
	Идентификатор	R5a634a8b-GlukhovOV-e664c6c7

О.В. Глухов


**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:** Дать обучающимся системное представление об основных задачах, методах, алгоритмических принципах и алгоритмах автономной навигации беспилотных систем, а также приёмах их математического моделирования для анализа и синтеза систем управления и навигации..

### Задачи дисциплины

- Изучить основные подходы, методы и алгоритмы, используемые для автономной навигации беспилотных систем, включая управление движением, планирование маршрутов и уклонение от препятствий.;
- Освоить приёмы математического моделирования автономных систем для анализа их работы и синтеза оптимальных решений в условиях реальных ограничений.;
- Ознакомиться с современными технологиями интеграции сенсоров, исполнительных механизмов, систем навигации и связи в беспилотных системах.;
- Применить полученные знания и навыки для решения научных и практических задач, связанных с разработкой, внедрением и тестированием автономных беспилотных систем в условиях городской и промышленной инфраструктуры..

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-2 Способен разрабатывать и модернизировать радиоэлектронные системы	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Разрабатывает структурные, функциональные и принципиальные схемы радиоэлектронных систем	знать: - Технологии интеграции сенсоров, исполнительных механизмов и модулей связи в беспилотных системах..
ПК-2 Способен разрабатывать и модернизировать радиоэлектронные системы	ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Использует средства компьютерного моделирования в целях модернизации и совершенствования радиоэлектронных систем	уметь: - Интегрировать сенсоры, исполнительные устройства и коммуникационные модули в единую систему..
РПК-1 Способен решать задачи цифровизации в своей профессиональной области	ИД-1 <sub>РПК-1</sub> Знает средства программного моделирования и аппаратного макетирования области своей профессиональной деятельности	знать: - Основные принципы и подходы к проектированию автономных навигационных систем.;- Алгоритмы и методы управления движением, уклонения от препятствий и планирования маршрутов.;- Основы математического моделирования для анализа и синтеза систем управления и навигации..
РПК-1 Способен решать задачи цифровизации в своей профессиональной области	ИД-2 <sub>РПК-1</sub> Владеет навыками программного моделирования, аппаратного макетирования и экспериментальных работ в области своей профессиональной	уметь: - Разрабатывать алгоритмы управления и навигации для беспилотных систем с использованием современных методов и подходов.;- Применять математическое моделирование для оптимизации работы автономных систем..

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
	деятельности	

## 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 высшую математику
- знать основы теории цепей
- знать физику
- знать информатику
- уметь читать и понимать материал на иностранном (английском) языке
- уметь использовать базовые алгоритмы обработки данных

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 5 зачетных единиц, 180 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	Основы автономной навигации и методы планирования пути	37.7	2	6	-	6	-	-	-	-	-	25.7	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Основы автономной навигации и методов планирования пути" <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы автономной навигации и методов планирования пути" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 31-50</p>
1.1	Основы кинематики колесных роботов. Интеграция сенсоров, исполнительных устройств и коммуникационных модулей в единую систему	19.7		2	-	2	-	-	-	-	-	15.7	-	
1.2	Детерминированные локальные алгоритмы автономной навигации	18		4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	
2	Алгоритмы управления и планирования движения	28		4	-	4	-	-	-	-	-	20	-	
2.1	Глобальное планирование на основе графов	14		2	-	2	-	-	-	-	-	10	-	
2.2	Оптимальное управление в планировании пути и траектории	14	2	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 16-50</p>	
3	Реактивная навигация	42		6	-	6	-	-	-	-	-	30	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b>



## **3.2 Краткое содержание разделов**

### 1. Основы автономной навигации и методы планирования пути

1.1. Основы кинематики колесных роботов. Интеграция сенсоров, исполнительных устройств и коммуникационных модулей в единую систему

Понятие, основные задачи и концепции автономной навигации. Обзор и классификация подходов. Типы колесных роботов: дифференциальный привод, машиноподобные роботы, омнибильные системы. Сенсоры, исполнительные устройства и коммуникационные модули.

1.2. Детерминированные локальные алгоритмы автономной навигации

Группа Bug (алгоритмов автономной навигации для мобильных роботов) и её развитие. Поведенческий и картографический подходы. Типы карт: геометрические, структурно-логические, сетка занятости.. Клеточное разбиение: трапецеидальная декомпозиция, декомпозиция Морса, метод Brushfire. Дорожные карты: графы видимости, мозаика, граф Вороного, метод Форчуна.. Случайное и детерминированное сэмплирование: последовательности Халтона, Хаммерсли, сетка Сухарева. Инкрементальное сэмплирование и планирование.

### 2. Алгоритмы управления и планирования движения

2.1. Глобальное планирование на основе графов

Поиск в ширину и глубину, алгоритм Дейкстры, A\*. Оптимальное планирование, дискретное динамическое программирование.

2.2. Оптимальное управление в планировании пути и траектории

Принцип максимума Понтрягина. Управление с прогнозирующими моделями.

### 3. Реактивная навигация и децентрализованные системы

3.1. Итерационное планирование и уклонение от препятствий

Методы гистограмм, динамического окна, отслеживания границы. Уклонение от динамических препятствий: метод пространственно-временного континуума.

3.2. Децентрализованная автономная навигация роботизированных ансамблей

Алгоритмы достижения консенсуса. Построение формаций, автономное покрытие областей.

3.3. Применение нейронных сетей

Нейронные сети для адаптивного управления.

## **3.3. Темы практических занятий**

1. Интеграция сенсоров, исполнительных устройств и коммуникационных модулей в единую систему;
2. Детерминированные локальные алгоритмы автономной навигации;
3. Глобальное планирование на основе графов;
4. Оптимальное управление в планировании пути и траектории;
5. Итерационное планирование и уклонение от препятствий;
6. Децентрализованная автономная навигация роботизированных ансамблей;

## 7. Применение нейронных сетей.

### 3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

### 3.5 Консультации

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основы автономной навигации и методов планирования пути"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Алгоритмы управления и планирования движения"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Реактивная навигация и децентрализованные системы"

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ 3 Семестр

Курсовой проект (КП)

Темы:

- Реализация автономной навигации для беспилотных систем

#### **График выполнения курсового проекта**

Неделя	1 - 8	9 - 16	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	2	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	60	40	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	60	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Написание отчета с описанием реализации проекта и пояснением кода
2	Защита проекта с демонстрацией работы системы



### 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	
<b>Знать:</b>					
Технологии интеграции сенсоров, исполнительных механизмов и модулей связи в беспилотных системах.	ИД-1ПК-2	+			Проверочная работа/Основы автономной навигации и методы планирования пути
Основы математического моделирования для анализа и синтеза систем управления и навигации.	ИД-1РПК-1			+	Проверочная работа/Методы представления сцены и глобального планирования
Алгоритмы и методы управления движением, уклонения от препятствий и планирования маршрутов.	ИД-1РПК-1	+			Проверочная работа/Методы дорожной карты и сэмплирования для планирования пути
Основные принципы и подходы к проектированию автономных навигационных систем.	ИД-1РПК-1		+		Проверочная работа/Методы представления сцены и глобального планирования
<b>Уметь:</b>					
Интегрировать сенсоры, исполнительные устройства и коммуникационные модули в единую систему.	ИД-2ПК-2			+	Проверочная работа/Основы автономной навигации и методы планирования пути
Применять математическое моделирование для оптимизации работы автономных систем.	ИД-2РПК-1		+		Проверочная работа/Методы дорожной карты и сэмплирования для планирования пути
Разрабатывать алгоритмы управления и навигации для беспилотных систем с использованием современных методов и подходов.	ИД-2РПК-1			+	Проверочная работа/Основы автономной навигации и методы планирования пути

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

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

#### **2 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Методы дорожной карты и сэмплирования для планирования пути (Проверочная работа)
2. Методы представления сцены и глобального планирования (Проверочная работа)
3. Основы автономной навигации и методы планирования пути (Проверочная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсового проекта является приложением Б.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №2)*

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

*Курсовой проект (КП) (Семестр №3)*

Итоговая оценка формируется на основе: 50% - промежуточная аттестация. Учитывается выполнение тестовых и письменных работ, демонстрация знаний и умений. 50% - курсовой проект. Учитывается качество выполнения проекта, успешность демонстрации результатов и защита проекта. Итоговая оценка может корректироваться преподавателем на основании общей активности и успеваемости студента.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

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

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

1. Демкин, Д. В. Разработка системы компьютерного зрения для управления беспилотным летательным аппаратом типа «квадрокоптер» : магистерская диссертация / Д. В. Демкин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ", Кафедра теоретической механики и мехатроники. – М., 2014. – 68 с. – фонд НЧЗ.

<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=5875>;

2. Сайфутдинов, Р. М. Разработка автоматической системы позиционирования беспилотного летательного аппарата относительно движущегося объекта : магистерская диссертация / Р. М. Сайфутдинов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ", Кафедра вычислительных машин, систем и сетей (ВМСИС). – М., 2017. – 70 с. – диссертация только в электронном виде, для чтения перейдите в электронную библиотеку МЭИ.

<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=9892>;

3. Фетисов В. С., Неугодникова Л. М.- "Беспилотные авиационные системы: терминология, классификация, структура", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2024 - (132 с.)

<https://e.lanbook.com/book/422474>.

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Python;
3. ОС Linux.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.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
	А-400, Учебная аудитория "А"	парта, стул, доска меловая, экран интерактивный, колонки звуковые, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Б-318, Учебная аудитория	парта со скамьей, стул, стол письменный, доска меловая, доска маркерная, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-703/12, Лаборатория каф. "ФОРС"	стеллаж, стол, стул, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, оборудование специализированное, компьютер персональный, принтер, книги, учебники, пособия
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-400, Учебная аудитория "А"	парта, стул, доска меловая, экран интерактивный, колонки звуковые, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	Е-420/4, Компьютерно-вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол, стул, шкаф, вешалка для одежды, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Е-703/8, Кабинет сотрудников каф. "ФОРС"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф для документов, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, книги, учебники, пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-704/14, Помещение каф. "ФОРС"	оборудование для экспериментов, запасные комплектующие для оборудования

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Автономная навигация беспилотных систем

(название дисциплины)

#### 2 семестр

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

- КМ-1 Основы автономной навигации и методы планирования пути (Проверочная работа)  
 КМ-2 Методы представления сцены и глобального планирования (Проверочная работа)  
 КМ-3 Методы дорожной карты и сэмплирования для планирования пути (Проверочная работа)

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

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3
		Неделя КМ:	4	12	16
1	Основы автономной навигации и методы планирования пути				
1.1	Основы кинематики колесных роботов. Интеграция сенсоров, исполнительных устройств и коммуникационных модулей в единую систему		+		
1.2	Детерминированные локальные алгоритмы автономной навигации				+
2	Алгоритмы управления и планирования движения				
2.1	Глобальное планирование на основе графов				+
2.2	Оптимальное управление в планировании пути и траектории			+	
3	Реактивная навигация и децентрализованные системы				
3.1	Итерационное планирование и уклонение от препятствий			+	
3.2	Децентрализованная автономная навигация роботизированных ансамблей		+		
3.3	Применение нейронных сетей		+		
Вес КМ, %:			30	40	30

#### 3 семестр

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

**Вид промежуточной аттестации – .**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:
		Неделя

		KM:
		Бec KM, %:

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Автономная навигация беспилотных систем

(название дисциплины)

**3 семестр**

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовому проекту:**

КМ-1 Проверка отчетного материала и кода студента

КМ-2 Защита проекта с демонстрацией работы системы

**Вид промежуточной аттестации – защита КП.**

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2
		Неделя КМ:	8	16
1	Написание отчета с описанием реализации проекта и пояснением кода		+	
2	Защита проекта с демонстрацией работы системы			+
Вес КМ, %:			60	40