

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

Направление подготовки/специальность: 15.04.06 Мехатроника и робототехника

Наименование образовательной программы: Разработка компьютерных технологий управления и математического моделирования в робототехнике и мехатронике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины
УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНЫХ КОЛЕСНЫХ РОБОТОВ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.03.01.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	2 семестр - 16 часов;
Практические занятия	2 семестр - 48 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 77,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Расчетно-графическая работа Коллоквиум	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кобрин А.И.
	Идентификатор	R1f56b9b2-KobrinAI-2633e8f9

(подпись)


А.И. Кобрин

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Свириденко О.В.
	Идентификатор	R9097b88f-SviridenkoOV-16830d5

(подпись)


О.В.

Свириденко

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883

(подпись)

И.В. Меркурьев

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение теоретических основ динамики, управления и навигации мобильных роботов и используемого в ней вспомогательного математического аппарата, а также освоение способов построения и компьютерной реализации математических моделей колёсных роботов

Задачи дисциплины

- изучение основных понятий, концепций и алгоритмов динамики, управления и навигации мобильных роботов;
- овладение важнейшими методами решения прикладных задач в области динамики мобильных роботов;
- формирование устойчивых навыков по применению арсенала методов динамики мобильных роботов при научном анализе ситуаций, с которыми специалисту приходится сталкиваться в ходе создания новой техники и новых технологий;
- ознакомление с историей и логикой развития динамики мобильных роботов.

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 разрабатывать техническое задание на проектирование мехатронных и робототехнических систем их подсистем, участвовать в разработке конструкторской и проектной документации в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями	ИД-3 _{ПК-1} Выбирает оптимальные решения при разработке мехатронных и робототехнических систем и их подсистем на основе анализа и обобщения отечественного и зарубежного опыта в области их проектирования	знать: - приборный состав навигационных систем роботов, принципы работы навигационных датчиков; - типовые современные алгоритмы регулирования движения мобильных роботов, в том числе алгоритмы траекторного управления. уметь: - подбирать типовые алгоритмы управления и навигации мобильных роботов, исходя из поставленной задачи.
ПК-2 Способен организовывать и проводить исследования мехатронных и робототехнических систем и их подсистем с учетом требований заказчиков	ИД-1 _{ПК-2} Разрабатывает действующие макеты и опытные образцы управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем и проводит эксперименты с применением современных информационных технологий и технических средств	знать: - методы разработки математических моделей мобильных колёсных роботов (в обобщённых координатах); - методы разработки математических моделей мобильных колёсных роботов (в псевдоскоростях). уметь: - проводить численное моделирование управляемого движения мобильных колёсных роботов с учётом динамики шасси, функционирования навигационной системы, динамики приводов робота; - разрабатывать математические модели мобильных колёсных роботов (в

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		псевдоскоростях); - разрабатывать математические модели мобильных колёсных роботов (в обобщённых координатах).

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Разработка компьютерных технологий управления и математического моделирования в робототехнике и мехатронике (далее – ОПОП), направления подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основные законы теоретической и аналитической механики
- знать типовые законы регулирования
- уметь использовать основные законы и принципы теоретической и аналитической механики для анализа движения робототехнических систем
- уметь проводить численное моделирование динамических процессов в современных математических пакетах

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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	Неголономные модели колёсных роботов в обобщённых скоростях	26	2	4	-	12	-	-	-	-	-	10	-	<p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Освоение материала, связанного с построением неголономных моделей колесных роботов, использующих наборы обобщенных координат и обобщенных скоростей</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Общее уравнение динамики. Возможные (виртуальные) перемещения. Изохронные вариации. Уравнения Лагранжа второго рода.</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 1-15 [5], стр. 58-67</p>
1.1	Неголономные модели колёсных роботов в обобщённых скоростях	26		4	-	12	-	-	-	-	-	10	-	
2	Неголономные модели колёсных роботов в псевдоскоростях	44		6	-	24	-	-	-	-	-	14	-	
2.1	Неголономные модели колёсных роботов в псевдоскоростях	44		6	-	24	-	-	-	-	-	14	-	

													<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [3], стр. 176-207 [4], стр. 4-19, 25-32
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	16	-	48	-	2	-	-	0.5	44	33.5	
	Итого за семестр	144.0	16	-	48	2	-	-	0.5	77.5			

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. Неголономные модели колёсных роботов в обобщённых скоростях

1.1. Неголономные модели колёсных роботов в обобщённых скоростях

Области применения колёсных роботов (транспорт, охрана, сервис, медицина). Беспилотные транспортные средства и задача автономного интеллектуального управления автомобилем. Конструктивные особенности колёсных роботов и типы колёс. Проблема устойчивости колёсных аппаратов при больших скоростях. Неголономные связи и корректность моделей неголономной механики. Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями для неголономных механических систем. Механический смысл неопределённых множителей Лагранжа и уравнения для их определения. Матричные методы при составлении уравнений неголономных систем. Уравнения Воронца и уравнения Чаплыгина. Движение диска по горизонтальной абсолютно шероховатой поверхности. Двухпараметрическое семейство стационарных движений диска и возможные траектории точки контакта диска. Условия устойчивости стационарных движений. Точное интегрирование уравнений движения диска. Гипергеометрическое уравнение Гаусса. Сведение задачи о движении диска к исследованию системы с одной степенью свободы и сингулярной силовой функцией. Невозможность падения диска на плоскость для почти всех начальных условий. Движение тяжёлого диска с маховиком. Сведение задачи о диске с маховиком к неоднородному гипергеометрическому уравнению Гаусса. Принципы стабилизации моноциклов. Системы маховичной стабилизации для перевёрнутого маятника с колесом. Одноколёсный робот-моноцикл «Гироколесо». Гироскопическая стабилизация одноколёсных роботов.

2. Неголономные модели колёсных роботов в псевдоскоростях

2.1. Неголономные модели колёсных роботов в псевдоскоростях

Уравнения Маджи. Движение конька на плоскости. Уравнения Эйлера – Лагранжа в псевдоскоростях. Принцип Гаусса (принцип наименьшего принуждения), его энергетическая трактовка. Уравнения Аппеля для неголономных механических систем. Структура функции Аппеля и уравнений Аппеля. Теорема Кёнига для функции Аппеля. Способы подсчета обобщённых сил в уравнениях Аппеля. Функция Аппеля для твёрдого тела с одной неподвижной точкой. Качение шара по шероховатой поверхности. Управление роботом шаровой формы. Введение псевдоскоростей для роботов с поворотными колёсами. Кинематические уравнения роботов с поворотными колёсами. Уравнения Аппеля для скейтборда и их анализ. Величина ускорения скейтборда при колебаниях колёсных пар.

3. Математические модели трицикла. Задачи навигации мобильных роботов

3.1. Математические модели трицикла

Уравнения Аппеля для трицикла – трёхколесного робота с двумя ведущими колёсами и пассивным рояльным колесом. Уравнения двигателей постоянного тока. Стационарные движения трицикла при постоянных напряжениях на двигателях. Фазовая плоскость и типы бифуркаций при росте напряжений на двигателях. Построение программных движений трицикла по траектории, составленной из четвертей окружностей. Расчёт программных напряжений на двигателях робота. Условия реализуемости программных движений и зависимость скачков напряжений от гладкости программной траектории..

3.2. Задачи навигации мобильных роботов

Сенсорные подсистемы автономных мобильных роботов и их чувствительные элементы. Принципы работы оптронной линейки и систем технического зрения. Оптические сенсоры

кругового обзора. Датчики углов поворотов колес. Волоконно-оптические и лазерные гироскопы. Кварцевые акселерометры. МЭМС-технологии и принципы работы микромеханических гироскопов и акселерометров. Ультразвуковые датчики. Дальномеры. Условия управляемости роботов с поворотными колёсами и роботов с рояльными колесами. Решение задачи наблюдаемости для разных наборов датчиков в мобильном роботе. Внешние и внутренние координаты мобильного робота. Прямая и обратная задача кинематики для колёсного робота. Алгоритмы автономной навигации колёсного робота. Уравнения для счисления пути. Уравнения ошибок навигационного алгоритма. Коррекция навигационных систем. Использование волоконно-оптических и лазерных гироскопов в навигационных задачах. Применение фильтра Калмана в задачах навигации мобильных колёсных роботов.

3.3. Темы практических занятий

1. Неголономные механические системы. Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями (4 часа).
2. Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями для робота-трицикла (4 часа).
3. Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями для трёхколёсной омни-платформы (2 часа).
4. Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями для четырёхколёсной механум-платформы (2 часа).
5. Псевдоскорости. Уравнения Маджи (4 часа).
6. Уравнения Маджи для робота-трицикла (4 часа).
7. Уравнения Маджи для робота с ведущим поворотным колесом (робоскутера) (2 часа).
8. Уравнения Аппеля. Энергия ускорений (2 часа).
9. Уравнения Аппеля для робота-трицикла (4 часа).
10. Уравнения Аппеля для робота с ведущим поворотным колесом (робоскутера) (4 часа).
11. Уравнения Аппеля для трёхколёсной омни-платформы (2 часа).
12. Уравнения Аппеля для четырёхколёсной механум-платформы (2 часа).
13. Задача построения траектории мобильного робота в стеснённой среде (2 часа).
14. Задача стабилизации траекторного движения мобильного робота (4 часа).
15. Навигация мобильных колёсных роботов (4 часа).
16. Коллоквиум (2 часа).

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Неголономные модели колёсных роботов в обобщённых скоростях"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Неголономные модели колёсных роботов в псевдоскоростях"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Математические модели трицикла. Задачи навигации мобильных роботов"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Неголономные модели колёсных роботов в обобщённых скоростях"

2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Неголономные модели колёсных роботов в псевдоскоростях"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Математические модели трицикла. Задачи навигации мобильных роботов"

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	
Знать:					
типовые современные алгоритмы регулирования движения мобильных роботов, в том числе алгоритмы траекторного управления	ИД-3ПК-1			+	Коллоквиум/Динамика, управление и навигация мобильных роботов Расчетно-графическая работа/Моделирование управляемого движения мобильного колесного робота
приборный состав навигационных систем роботов, принципы работы навигационных датчиков	ИД-3ПК-1			+	Коллоквиум/Динамика, управление и навигация мобильных роботов
методы разработки математических моделей мобильных колёсных роботов (в псевдоскоростях)	ИД-1ПК-2		+		Контрольная работа/Уравнения Аппеля Контрольная работа/Уравнения Маджи
методы разработки математических моделей мобильных колёсных роботов (в обобщённых координатах)	ИД-1ПК-2	+			Контрольная работа/Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями
Уметь:					
подбирать типовые алгоритмы управления и навигации мобильных роботов, исходя из поставленной задачи	ИД-3ПК-1			+	Расчетно-графическая работа/Моделирование управляемого движения мобильного колесного робота
разрабатывать математические модели мобильных колёсных роботов (в обобщённых координатах)	ИД-1ПК-2	+			Контрольная работа/Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями
разрабатывать математические модели мобильных колёсных роботов (в псевдоскоростях)	ИД-1ПК-2		+		Контрольная работа/Уравнения Аппеля Контрольная работа/Уравнения Маджи
проводить численное моделирование управляемого движения мобильных колёсных роботов с учётом динамики шасси, функционирования навигационной системы, динамики приводов робота	ИД-1ПК-2			+	Расчетно-графическая работа/Моделирование управляемого движения мобильного колесного робота

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: Защита задания

1. Моделирование управляемого движения мобильного колесного робота (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Динамика, управление и навигация мобильных роботов (Коллоквиум)
2. Уравнения Аппеля (Контрольная работа)
3. Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями (Контрольная работа)
4. Уравнения Маджи (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих. Оценка выносится в приложение к диплому.

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. Зацепин, М. Ф. Уравнения Лагранжа, Воронца, Чаплыгина в задачах динамики мобильных роботов : методическое пособие по курсу "Теоретические основы робототехники" по направлению "Роботы и робототехнические системы" / М. Ф. Зацепин, Ю. Г. Мартыненко, Д. В. Тиньков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2005 . – 32 с.;
2. Кинематика, динамика и управление движением мобильного робота-манипулятора KUKA youBot : учебное пособие по курсам "Основы механики роботов", "Основы мехатроники и робототехники" по направлению "Мехатроника и робототехника" / Б. И. Адамов, О. М. Капустина, И. В. Меркурьев, Г. В. Панкратьева, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 71 с. - ISBN 978-5-7046-1978-9 .
http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10228;
3. Матюхин В. И.- "Управление механическими системами", Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2009 - (320 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59555;
4. Пролетарский А. В., Неусыпин К. А., Кузнецов И. А.- "Алгоритмы коррекции навигационных систем", Издательство: "МГТУ им. Н.Э. Баумана", Москва, 2015 - (67 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=62072;

5. Солтаханов Ш. Х.- "Основы механики голономных и неголономных систем",
 Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2013 - (184 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59673.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. Антиплагиат ВУЗ;
6. Scilab.

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
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	С-205, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	С-209, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	С-209, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	С-213, Учебная аудитория	стол, стул, доска меловая

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Управление движением мобильных колесных роботов

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Уравнения Лагранжа с неопределёнными множителями (Контрольная работа)

КМ-2 Уравнения Маджи (Контрольная работа)

КМ-3 Уравнения Аппеля (Контрольная работа)

КМ-4 Моделирование управляемого движения мобильного колесного робота (Расчетно-графическая работа)

КМ-5 Динамика, управление и навигация мобильных роботов (Коллоквиум)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	12	15	15
1	Неголономные модели колёсных роботов в обобщённых скоростях						
1.1	Неголономные модели колёсных роботов в обобщённых скоростях		+				
2	Неголономные модели колёсных роботов в псевдоскоростях						
2.1	Неголономные модели колёсных роботов в псевдоскоростях			+	+		
3	Математические модели трицикла. Задачи навигации мобильных роботов						
3.1	Математические модели трицикла					+	+
3.2	Задачи навигации мобильных роботов					+	+
Вес КМ, %:			18	18	22	24	18