

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Институт информационных технологий математики и механики

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. № 13

**Рабочая программа дисциплины**

**Модели и задачи управления роботами-манипуляторами**

---

Уровень высшего образования

**Бакалавриат**

---

Направление подготовки

**01.03.02 Прикладная математика и информатика**

---

Направленность (профиль) программы

**Прикладная математика и информатика (Общий профиль)**

---

Форма обучения

**очная**

---

Нижегород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору). Код дисциплины **Б1.В.ДВ.06.06**.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.06.06 Модели и задачи управления роботами-манипуляторами относится к части ООП по направлению подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика», формируемой участниками образовательных отношений.

## 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	
<b>ПК-13.</b> Способен участвовать в исследовании математических моделей в естественных науках и технике	<b>ПК-13.1.</b> Знает методы создания, анализа и исследования математических моделей в естественных науках и технике	<u>Знать:</u> – терминологию предметной области, основные факты, понятия, модели, изучаемые в дисциплине; – постановки задач и методы матричного описания кинематики манипуляторов – подходы и приближенные методы оптимального планирования движений манипуляторов – методы синтеза и обеспечения устойчивости программных движений при управлении манипулятором.	Собеседование
	<b>ПК-13.3.</b> Умеет корректно использовать методы создания, анализа и исследования математических моделей, умеет применять численные и аналитические методы решения базовых математических задач и классических задач естествознания	<u>Уметь:</u> – корректно синтезировать матричное описание кинематики манипулятора – строить модели динамики приводов и манипуляционных цепочек – применять необходимые аналитические методы и алгоритмы для оптимизации построения движения манипуляторов, обеспечивающих требуемое движение схвата – применять аналитические и алгоритмические методы управления манипуляционными системами	Задачи (практические задания)

	<i>в практической деятельности.</i>		
--	-------------------------------------	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	<b>Очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>33</b>
- занятия лекционного типа	<b>16</b>
- занятия семинарского типа	<b>16</b>
- занятия лабораторного типа	<b>0</b>
- текущий контроль (КСР)	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>	

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание 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	Занятия лабораторного типа	Всего	
Раздел 1. Модели кинематики манипулятора. Матричный подход к описанию кинематики. Прямая кинематическая задача. Обратная задача кинематики.	13	3	3		6	7
Раздел 2. Проблемы инверсной кинематики. Задача о построении дискретного программного движения манипулятора по дискретной траектории движения схвата. Оптимизационные методы решение задачи на основе линеаризованных уравнений кинематики. Другие подходы.	14	3	3		6	8

Раздел 3. Задача о приближенном построении оптимального непрерывного программного движения манипулятора по заданному дискретному движению и подходы к ее решению. Задача о непрерывном изменении ориентации схвата.	16	4	4		8	8
Раздел 4. Построение простейшей модели электроприводов манипулятора. Структура и вывод уравнений динамики механической части манипулятора.	14	3	3		6	8
Раздел 5. Задача регулирования при реализации заданного программного движения. Методы построения регуляторов	14	3	3		6	8
Текущий контроль (КСР)	1				1	
Промежуточная аттестация – зачет						
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>16</b>	<b>16</b>		<b>33</b>	<b>39</b>

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов на занятиях семинарского типа

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет), включающий выполнение практических заданий по программе дисциплины.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Ниже приводятся виды самостоятельной работы студентов, порядок их выполнения и контроля, приводится учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы по ее отдельным видам и разделам дисциплины.

##### **Виды самостоятельной работы студентов:**

- проработка теоретического материала лекционных занятий;
- подготовка к занятиям семинарского типа;
- самостоятельное чтение дополнительной литературы, поиск дополнительной информации в сети Интернет;
- подготовка к промежуточной аттестации в форме зачета.

##### **4.1. Проработка теоретического материала лекционных занятий**

Выполняется самостоятельно с использованием лекционных материалов, методических материалов. Контроль выполняется в форме проведения научно-практических заданий с разбором решения конкретных задач.

При подготовке следует использовать литературу и интернет-источники, рекомендованные в разделе 6.

##### **4.2. Подготовка к занятиям семинарского типа**

Для подготовки к научно-практическим занятиям семинарского типа рекомендуется повторно прочитать теоретические разделы, просмотреть полезные разделы в соответствующих источниках из списка рекомендованной литературы (раздел 6), самостоятельно продумать решение нескольких задач по теме предстоящего занятия.

В качестве методических материалов при подготовке к зачету рекомендуется использовать собственные конспекты лекций, методические издания, записи с практических занятий, а также источники, рекомендованные в списке литературы раздела 6.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

**5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала.  Невозможно оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	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 ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<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.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. 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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1. Задачи (практические задания) текущего контроля

#### 5.2.1.1. Задачи (практические задания) оценки сформированности ПК-13

Задание 1. Указать выбор обобщенных координат для манипулятора с рис. 1. Построить абсолютную и локальные системы координат, связанные с началом и концом каждого звена этого манипулятора.

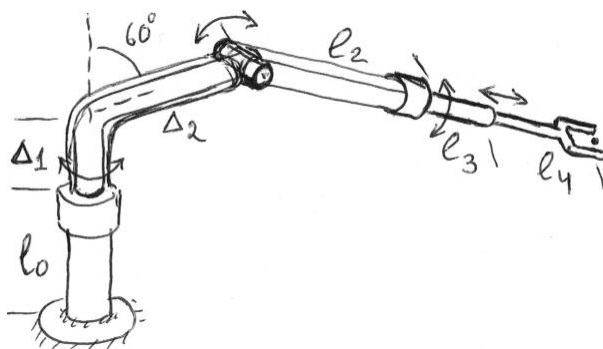


Рис. 1.

Задание 2. Построить матричное описание кинематики манипулятора, изображенного на рис.1. Получить вид соответствующих матриц.

Задание 3. Используя теорему Шаля получить формулу непрерывной зависимости матрицы ориентации схвата, которая обеспечит его непрерывный перевод от ориентации (а), показанной на рис. 2, к ориентации (в).

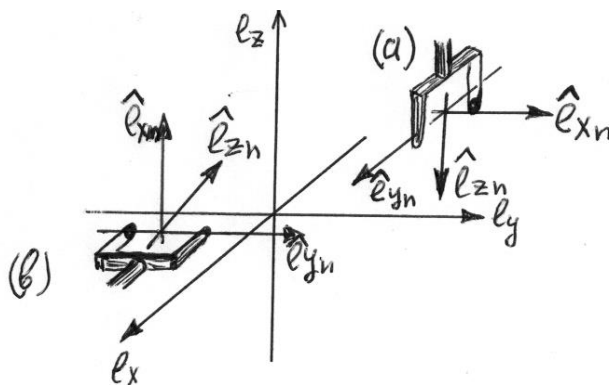


Рис. 2.

Задание 4. Для простейшего однозвеного манипулятора, представляющего математический маятник (рис.3), расположенный в плоскости  $e_{y_0}, e_{z_0}$ , вывести уравнения динамики, используя принцип Даламбера.

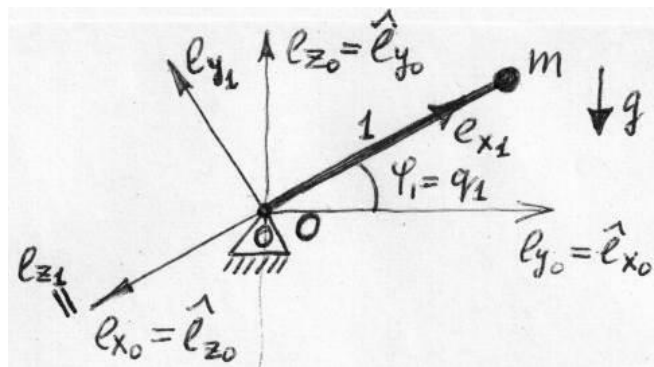


Рис. 3.

Задание 5. Для однозвеного манипулятора, представляющего математический маятник (рис.3), расположенный в плоскости  $e_{y_0}, e_{z_0}$ , записать, согласно выведенным на лекциях

соотношениям, уравнения динамики в матричной форме и показать, что путем их преобразования можно получить классическую форму уравнений динамики маятника.

### 5.2.2. Контрольные вопросы к собеседованию на зачете

<i>Вопросы</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
Типы кинематических пар. Прямая и обратная кинематические задачи.	ПК-13
Матричное описание кинематики. Общее решение прямой кинематической задачи для координат и скоростей.	ПК-13
Постановка обратной кинематической задачи. Аналитические и численные методы.	ПК-13
Определение дискретного представления программного движения манипулятора по дискретной траектории движения схвата без ограничений на его ориентацию. Решение задачи без учета препятствий и ограничителей на основе условий локальной оптимальности.	ПК-13
Решение предыдущей задачи в среде с препятствиями. Учет ограничителей.	ПК-13
Определение промежуточных положений и ориентаций схвата по начальному и конечному положению и ориентации на основе теоремы Шаля.	ПК-13
Метод инверсной кинематики FABRIK для определения положения центров кинематических пар манипуляторов с парами вращательного типа.	ПК-13
Неадаптивное формирование гладкого программного движения по дискретному, использование подходов вариационного исчисления и сплайнов.	ПК-13
Линеаризованные модели электроприводов робота.	ПК-13
Структура уравнений динамики механической части манипулятора, полученных на основе принципа Даламбера.	ПК-13
Построение систем управления манипулятором на основе линеаризации обратными связями, а также с использованием регуляторов с оптимальным уровнем гашения внешних воздействий (по отношению к линеаризованной модели манипулятора).	ПК-13

### 5.2.3. Типовые задачи (практические задания) на зачете для оценки сформированности компетенции ПК-13

1. Показать выбор локальных систем координат звеньев манипулятора, построить матричное описание кинематики по заданной кинематической схеме манипулятора (схемы манипуляторов прилагаются).
2. Для заданной кинематической схемы манипулятора и заданного положения и размеров детали получить матричные условия на определение значений обобщенных координат, при которых манипулятор может захватить деталь, сжав пальцы схвата (схемы кинематики манипуляторов и положение детали прилагаются).
3. Получить теоретическую оценку уменьшения погрешности при выполнении итерации метода FABRIK для одного звена.



4. Получить матричную форму записи уравнения динамики плоского однозвенного манипулятора и привести ее к стандартному виду уравнения колебаний маятника.
5. Построить децентрализующий регулятор для примера плоского двухзвенного манипулятора (схема кинематики манипулятора прилагается).

#### 5.2.5. Типовые задания для самостоятельной работы для оценки сформированности компетенции ПК-13

1. Изучить правила построения матричных описаний манипуляторов с кинематическими парами пятого класса.
2. Найти в сети Интернет описание алгоритма метода FABRIK.
3. Найти в сети Интернет описание алгоритма инверсной кинематики CCD.
3. Записать в принятой матричной форме представления уравнения колебаний математического маятника как однозвенного манипулятора.
4. Получить вид экстремалей для вариационной задачи поиска минимума интеграла от квадрата ускорения скалярной величины.

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### а) основная литература:

1. Баландин Д.В., Городецкий С.Ю. Классические и современные методы построения регуляторов в примерах – Электронное учебное пособие, 2012 г. Рег. № 497.12.08., URL: <http://www.unn.ru/books/resources.html>, режим доступа – свободный.
2. Певзнер Л.Д. Теория систем управления. М.: Лань. 2013. – Электронная библиотечная система «Издательства Лань», 2016, URL: <https://e.lanbook.com/search?query=%D0%9F%D0%B5%D0%B2%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%80+%D0%9B.%D0%94. +%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F+%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC+%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F>
3. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. М.: Лань. 2015. – Электронная библиотечная система «Издательства Лань», 2016, URL:

#### б) дополнительная литература

1. Неймарк Ю.И. Динамические системы и управляемые процессы. М.: Наука, 1978.

(41 экз)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Научная электронная библиотека для поиска публикаций по кинематике и управлению манипуляторами: <http://elibrary.ru/>

2. Обзор по инверсной кинематике в открытой электронной энциклопедии:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Inverse\\_kinematics](https://en.wikipedia.org/wiki/Inverse_kinematics)

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: презентационное оборудование для проведения обсуждений и компьютерных демонстраций (лаборатории 218, и 220 кафедры ТУиДС, корп.2).

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

Наличие рекомендованной литературы.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Автор: к.ф.-м.н., доцент кафедры ТУиДС Городецкий С.Ю.

Рецензент: д.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева Ломакина Л.С.

Заведующий кафедрой ТУиДС: д.ф.-м.н. Осипов Г.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии Института информационных технологий, математики и механики  
от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.