

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 № 11 от 25.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Модели и задачи управления роботами-манипуляторами

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
02.04.01 - Математика и компьютерные науки

Направленность образовательной программы
Математика и компьютерные науки

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.02 Модели и задачи управления роботами-манипуляторами относится к части, формируемой участниками образовательных отношений 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
ПК-2: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	<p>ПК-2.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-2.2: умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-2.3: Имеет навыки разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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. <p>ПК-2.2:</p> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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 	Задачи Задания	Зачёт: Контрольные вопросы Задачи

		системами		
		ПК-2.3: Иметь навыки: – построения моделей динамики приводов и манипуляционных цепочек – исследования устойчивости программных движений при управлении манипулятором		

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

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	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Раздел 1. Модели кинематики манипулятора. Матричный подход к описанию кинематики. Прямая кинематическая задача. Обратная задача кинематики.	20	3	3	6	14
Раздел 2. Проблемы инверсной кинематики. Задача о построении дискретного программного движения манипулятора по дискретной траектории движения схвата. Оптимизационные методы решения задачи на основе линеаризованных уравнений кинематики. Другие подходы.	21	3	3	6	15

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.	24	4	4	8	16
Раздел 4. Построение простейшей модели электроприводов манипулятора. Структура и вывод уравнений динамики механической части манипулятора.	21	3	3	6	15
Раздел 5. Задача регулирования при реализации заданного программного движения. Методы построения регуляторов	21	3	3	6	15
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Модели кинематики манипулятора. Матричный подход к описанию кинематики. Прямая кинематическая задача. Обратная задача кинематики.

Раздел 2. Проблемы инверсной кинематики. Задача о построении дискретного программного движения манипулятора по дискретной траектории движения схвата. Оптимизационные методы решения задачи на основе линеаризованных уравнений кинематики. Другие подходы.

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.

Раздел 4. Построение простейшей модели электроприводов манипулятора. Структура и вывод уравнений динамики механической части манипулятора.

Раздел 5. Задача регулирования при реализации заданного программного движения. Методы построения регуляторов

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.

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
- . 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.

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, самостоятельно продумать решение несколько 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.

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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

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.

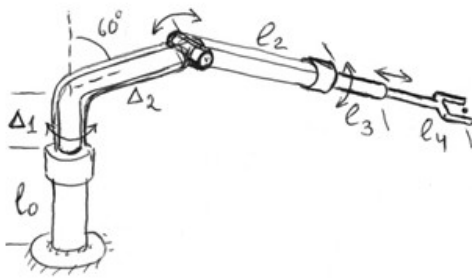


Рис. 1.

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).

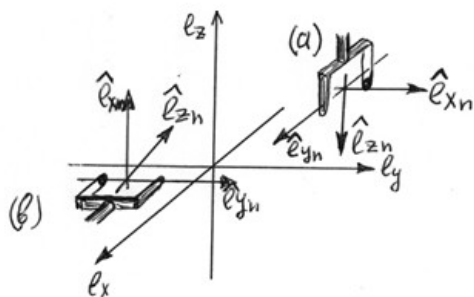


Рис. 2.

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

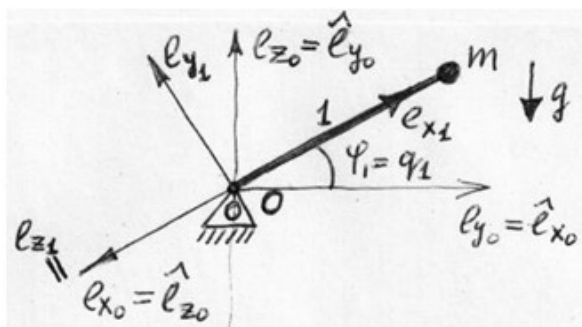


Рис. 3.

Задание 5. Для однозвенного 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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Результаты работы представлены преподавателю в срок.
не зачтено	Выполнены не все практические задания или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, результаты работы не представлены преподавателю).

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Изучить правила построения матричных описаний манипуляторов с кинематическими парами пятого класса.
2. Найти в сети Интернет описания 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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнена основная часть задания, возможно с незначительными недочетами
не зачтено	Выполнено менее половины задания, есть существенные недочеты

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 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. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные

	вследствие отказа обучающегося от ответа	умения. Имели место грубые ошибки	задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и 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 ПК-2

Типы кинематических пар. Прямая и обратная кинематические задачи.

Матричное описание кинематики. Общее решение прямой кинематической задачи для координат и скоростей.

Постановка обратной кинематической задачи. Аналитические и численные методы.

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.

Решение предыдущей задачи в среде с препятствиями. Учет ограничителей.

Определение промежуточных положений и ориентаций схвата по начальному и конечному положению и ориентации на основе теоремы Шаля.

Метод инверсной кинематики FABRIK для определения положения центров кинематических пар манипуляторов с парами вращательного типа.

Неадаптивное формирование гладкого программного движения по дискретному, использование подходов вариационного исчисления и сплайнов.

Линеаризованные модели электроприводов робота.

Структура уравнений динамики механической части манипулятора, полученных на основе принципа Даламбера.

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).

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2

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).

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Результаты работы представлены преподавателю в срок.
не зачтено	Выполнены не все практические задания или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, результаты работы не представлены преподавателю).

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

Основная литература:

1. Баландин Д. В. Классические и современные методы построения регуляторов в примерах : электронное учебно-методическое пособие / Баландин Д. В., Городецкий С. Ю. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2012. - 122 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Математика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=729784&idb=0>.
2. Певзнер Л. Д. Теория систем управления : учебное пособие для вузов / Певзнер Л. Д. - 3-е изд., испр. - Санкт-Петербург : Лань, 2025. - 448 с. - Рекомендовано УМО вузов РФ по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Управление в технических системах». - Книга из коллекции Лань - Информатика. - ISBN 978-5-507-49635-8., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=928184&idb=0>.
3. Первозванский А. А. Курс теории автоматического управления : учебное пособие для вузов / Первозванский А. А. - 7-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2025. - 616 с. - Книга из коллекции

Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-507-50669-9.,
<https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=931844&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Неймарк Юрий Исаакович. Динамические системы и управляемые процессы. - М. : Наука, 1978. - 336 с. : ил. - 1.50., 40 экз.

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

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

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 02.04.01 - Математика и компьютерные науки.

Автор(ы): Городецкий Станислав Юрьевич, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Осипов Григорий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.