

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 № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Модели и задачи управления роботами-манипуляторами

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Прикладная математика и информатика (общий профиль)

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.06 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-6: Способен изучать и применять программное обеспечение, проводить расчётные работы и выполнять обработку результатов исследований	<p>ПК-6.1: Знает методы применения современных программных комплексов, пакетов прикладных программ и автоматизированных систем для решения прикладных задач при проведении исследований</p> <p>ПК-6.2: Умеет самостоятельно проводить расчётные работы, выбирать и применять современные программные комплексы, пакеты прикладных программ и автоматизированные системы, обрабатывать и анализировать полученные результаты</p> <p>ПК-6.3: Имеет практический опыт применения современного программного обеспечения для решения прикладных задач</p>	<p>ПК-6.1:</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 – современные программные системы для проведения расчетов и моделирования. <p>ПК-6.2:</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 	Собеседование Практическое задание	Зачёт: Задачи

		<p>– применять аналитические и алгоритмические методы управления манипуляционными системами</p> <p>– применять современные программные системы для проведения расчетов по планированию движений и управлению манипуляторами</p> <p>ПК-6.3:</p> <p>Владеть:</p> <p>– опытом применения современного программного обеспечения, математических пакетов для решения задач по расчету и моделированию манипуляторов</p>		
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	39
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	о	о	о	о

	Ф О	Ф О	Ф О	Ф О	Ф О
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 решения задачи на основе линеаризованных уравнений кинематики. Другие подходы.	18	3	3	6	12
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	10	3	3	6	4
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	16	16	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. История развития технической базы и перспективных исследований в области роботов–манипуляторов. Модели кинематики манипулятора. Манипулятор как кинематическая цепочка пар 5-го класса. Типы кинематических пар, их обозначения на кинематической схеме. Введение локальных систем координат, связанных со звеньями. Матричный подход к описанию кинематики. Прямая кинематическая задача и ее решение.

Обратная задача кинематики. Методы ее решения, основанные на инженерно-технологическом подходе, аналитическом решении для специальных кинематических схем, прямой численной оптимизации невязки в положении схвата.

Обзор иерархии уровней системы управления роботами–манипуляторами в зависимости от поколения роботов (неадаптивные, адаптивные, интегральные).

Раздел 2. Проблемы инверсной кинематики. Задача о построении дискретного программного движения манипулятора по дискретной траектории схвата. Описание препятствий в рабочей зоне манипулятора. Локально–оптимальные подходы к решению задачи на итерации и их реализация на основе метода линеаризации уравнений кинематики и функции расстояния до препятствия, учет конструктивных ограничений. Использование метода множителей Лагранжа и условий Кариша–Куна–Таккера для решения возникающих задач квадратичного программирования. Другие подходы к решению задач инверсной кинематики, метод FABRIC.

Раздел 3. Задача о приближенном построении оптимального непрерывного программного движения манипулятора по заданному дискретному движению и подходы к ее решению. Использование элементов вариационного исчисления, сплайн–аппроксимаций, метода прогонки, численной оптимизации параметризованного целевого функционала.

Задача о непрерывном изменении ориентации схвата. Теорема Шаля из теоретической механики и ее применение к решению задачи. Определение ориентации оси вращения и требуемого угла поворота.

Раздел 4. Построение простейшей модели электроприводов манипулятора. Структура и вывод матричных уравнений динамики механической части манипулятора на основе принципа Даламбера.

Раздел 5. Задача регулирования при реализации заданного программного движения. Требование асимптотической устойчивости. Методы построения регуляторов. Построение нелинейных

децентрализирующих регуляторов для асимптотически устойчивой реализации заданного программного движения манипулятора. Регуляторы, реализующие принцип позиционного управления, основанные на линеаризации уравнений динамики.

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.

Методическое обеспечение дисциплины направлено на учебно-методическую поддержку самостоятельной работы обучающихся

Ниже приводятся виды самостоятельной работы студентов, порядок их выполнения и контроля, даны рекомендации по использованию учебно-методических материалов для самостоятельной работы по 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.

Дополнительные источники, непосредственно относящаяся к проблемной области дисциплины, доступные только через покупку в форме букинистических изданий:

1. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота-манипулятора. – М.: Наука, 1976.
2. Тимофеев А.В. Управление роботами. – Л.: ЛГУ, 1986.
3. Вукобратович М., Стокич Д. Управление манипуляционными роботами: теория и приложения. – М.: Наука, 1985.
4. Кобринский А.А., Кобринский А.Е. Манипуляционные системы роботов. – М.: Наука, 1985.

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 рабочей программе дисциплины.

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; указанные в РПД методические и научные источники, рекомендованные в списке литературы; записи с практических занятий.

Образцы контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины представлены в РПД.

Контрольные вопросы по теории для подготовки и промежуточной аттестации в форме зачета

1. Типы кинематических пар. Прямая и обратная кинематические задачи.
2. Матричное описание кинематики. Общее решение прямой кинематической задачи для координат и скоростей.
3. Постановка обратной кинематической задачи. Аналитические и численные методы.
4. 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.
5. Решение предыдущей задачи в среде с препятствиями. Учет ограничителей.
6. Определение промежуточных положений и ориентаций схвата по начальному и конечному положению и ориентации на основе теоремы Шаля.
7. Метод инверсной кинематики FABRIK для определения положения центров кинематических пар манипуляторов с парами вращательного типа.
8. Неадаптивное формирование гладкого программного движения по дискретному, использование подходов вариационного исчисления и сплайнов.
9. Линеаризованные модели электроприводов робота.
10. Структура уравнений динамики механической части манипулятора, полученных на основе принципа Даламбера.
11. Построение систем децентрализованного управления манипулятором на основе линеаризации обратными связями, а также с использованием регуляторов для позиционного управления на основе линеаризованных уравнений динамики манипулятора.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

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 вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные 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 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 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»

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

Основная литература:

1. Баландин Дмитрий Владимирович. Классические и современные методы построения регуляторов в примерах : учебно-методическое пособие / Д. В. Баландин, С. Ю. Городецкий ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 122 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=851250&idb=0>.
2. Городецкий Станислав Юрьевич. Лекции по нелинейному математическому программированию : учебно-методическое пособие / С. Ю. Городецкий ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2020. - 173 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=794639&idb=0>.
3. Городецкий Станислав Юрьевич. Лекции по вариационному исчислению и оптимальному управлению : учебно-методическое пособие / С. Ю. Городецкий ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2020. - 51 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=794640&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Попов Евгений Павлович. Манипуляционные роботы : Динамика и алгоритмы. - М. : Наука, 1978. - 398 с. : ил. - (Научные основы робототехники). - 2.30., 2 экз.
2. Динамика управления роботами / под ред. Е. И. Юревича. - М. : Наука, 1984. - 334 с. : ил. - (Научные основы робототехники). - 2.30., 1 экз.
3. 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. 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>
2. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. М.: Лань. 2015. – Электронная библиотечная система «Издательства Лань», 2016, URL: <https://e.lanbook.com/search/bookTexts?page=2&limit=10&query=%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9+%D0%90.%D0%90.+%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%81+%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8+%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE+%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F&from=+&to=+&books=1&author=1&name=1&journal=all&findInFoundQuery=%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&foundRows=15&journals=&text=&keywords=&findInFound=0&category917=&ca>

tegory918=&category930=&category931=&category939=&category945=&category1029=&category1537=&category1851=&category2136=&category2611=&category2612=&category3146=&category3827=&category3863=&category4317=&category4738=&category4775=&category5856=&category7799=&category10018=&category10995=&category11056=&category17051=&category18165=&category23610=&category26920=&category27836=&category31763=&category31764=&category31765=

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

4. 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, компьютерами.

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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.03.02 - Прикладная математика и информатика.

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

Рецензент(ы): Ломакина Любовь Сергеевна, д.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

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

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