

**ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский)
университет**

Утверждено
Директор Института Математики и Информатики

Арамян Р.Г.



«21» марта 2025, протокол №9/

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

**Наименование дисциплины: Математическое моделирование
манипуляционных роботов и управление движением**

Автор: доктор физ.-мат. наук, профессор Гукасян Артуш Апрегович

**Направление подготовки: 01.04.02 Прикладная математика и
информатика**

**Наименование образовательной программы: Математическое
моделирование**

1. АННОТАЦИЯ

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины

Робот представляет собой управляемую механическую систему со многими степенями свободы, способную совершить сложные движения в пространстве, и содержащую один или несколько многозвенных манипуляторов. Для усовершенствования конструкции манипуляционных роботов и создания эффективных методов системы управления, необходимо изучение многих вопросов кинематики, динамики и современных алгоритмов управления движением механических систем. При построении математических моделей манипуляционных роботов предполагается, что конструктивные элементы манипулятора содержат как абсолютно твердые, так и упругие тела, соединенные идеальными и упругими шарнирами.

1.2. Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля

Трудоемкость курса составляет 2 академических кредита, что эквивалентно 72 часам (1 академический кредит равен 36 часам). Обучение включает в себя 34 часа практических занятий. Итоговый контроль будет проведен в форме зачета.

1.3. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности.

При изучении специальной дисциплины «Математическое моделирование манипуляционных роботов и управление движением» используются методы теоретической механики, математического анализа, аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциальных уравнений, математической физики, вариационного исчисления, асимптотические методы, алгоритмы и методы оптимального управления с полной информацией и в условиях неопределенности.

1.4. Результаты освоения программы дисциплины:

Код компетенции	Наименование компетенции	Код индикатора достижения компетенций	Наименование индикатора достижений компетенций
ОПК-3	Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной	ОПК-3.1	Знать принципы и методы математического моделирования и анализа

	деятельности		
		ОПК-3.2	Уметь создавать точные и эффективные математические модели для конкретных прикладных задач
		ОПК-3.3	Владеть глубокими знаниями в анализе моделей, умением оценивать их адекватность и точность, а также способностью предсказывать их поведение в различных условиях
ПК-2	Способностью разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	ПК-2.1	Знать теоретические основы и концептуальные модели в научных исследованиях
		ПК-2.2	Уметь анализировать и разрабатывать концептуальные и теоретические модели для проектной и производственной деятельности
		ПК-2.3	Владеть глубоким пониманием теоретических подходов и их практического применения в создании

			новых исследовательских проектов
ПК-7	Способностью разрабатывать и оптимизировать бизнес-планы научно-прикладных проектов	ПК-7.1	Знать основы разработки бизнес-планов для научно-прикладных проектов
		ПК-7.2	Уметь создавать и оптимизировать бизнес-планы, оценивать их эффективность
		ПК-7.3	Владеть методами финансового и стратегического планирования в контексте научных проектов

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи специальной дисциплины.

Целью специальной дисциплины «Математическое моделирование манипуляционных роботов и управление движением» является изучение методов построения математических моделей манипуляционных роботов с учетом конструктивных элементов, которые могут быть как абсолютно твердыми, так и упругими телами. Изучение движения манипулятора в разных системах координат и построение эффективных алгоритмов управления исполнительным устройством манипулятора при полной информации и гарантированные алгоритмы в условиях неопределенности.

2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы.

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах	Распределение по семестрам					
		— сем	— 2— сем	— сем	— сем.	— сем	— сем.
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	32		32				
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	32		32				
1.1.1. Практические занятия, в т. ч.	32		32				
Итоговый контроль			Зачет				

2.3 Содержание дисциплины

2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану

Разделы и темы дисциплины	Всего ак. часов	Лекции, ак. часов	Практ. занятия, ак. часов	Семинары, ак. часов	Лабор, ак. часов
1	2+3+4+5+6	3	4	5	6
Тема 1. Конструктивные элементы манипуляционных роботов, системы управления и этапы развития.	1	1			
Тема 2. Обобщенные координаты, определяющие положение характерных точек и конфигурацию многозвенного манипулятора.	1	1			
Тема 3. Методы построения математической модели многозвенного манипулятора с абсолютно твердыми звеньями и идеальными соединительными шарнирами.	2	2			
Тема 4. Скорость и ускорение движений исполнительным устройством манипулятора.	2	2			
Тема 5. Пространственное движение двухзвенного манипулятора.	2	2			
Тема 6. Математическая модель манипулятора с абсолютно твердыми звеньями и упругими соединительными шарнирами.	3	3			
Тема 7. Исследование кинематики движения упругого манипулятора асимптотическим методом.	2	2			
Тема 8. Построение математической модели манипулятора с упругими	2	2			

звеньями и идеальными соединительными шарнирами.					
Тема 9. Пространственное движение двухзвенного упругого манипулятора (упругие звенья и соединительные шарниры).	2	2			
Тема 10. Математическая модель манипулятора с упругими звеньями и упругими соединительными шарнирами.	2	2			
Тема 11. Криволинейные координаты. Движение манипулятора в криволинейных координатах.	2	2			
Тема 12. О методах построения уравнений динамики движения манипуляционных роботов с учетом конструктивных особенностей. Управляющие воздействия.	2	2			
Тема 13. Постановка задачи управления и оптимального управления. Критерии оптимальности, фазовые ограничения.	3	3			
Тема 14. Методы и алгоритмы оптимального управления. Принцип максимума Понтрягина, методы динамического программирования Беллмана.	2	2			
Тема 15. О возможности применения методов гарантированного управления в задачах управления с неполной информацией и в условиях неопределенности.	2	2			
Тема 16. Устойчивое и оптимальное движение схвата манипулятора по заданной программе.	2	2			
ИТОГО	32	32			

2.3.2 Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Тема 1. Конструктивные элементы манипуляционных роботов, системы управления и этапы развития.

Ознакомление с особенностями существующих конструкций манипуляционных роботов. Типы звеньев, соединительных шарниров, приводов, схватов, систем управления с обратной связью.

Тема 2. Обобщенные координаты, определяющие положение характерных точек и конфигурацию манипулятора.

Основные типы координат: декартовы координаты, обобщенные координаты, фазовые координаты, криволинейные координаты, углы Эйлера и методы их построения.

Тема 3. Методы построения математической модели многозвенного манипулятора с абсолютно твердыми звеньями и идеальными соединительными шарнирами.

Положение многозвенной системы в пространстве, определение абсолютно твердого тела, типы соединительных шарниров (цилиндрические, сферические), построение математической модели.

Тема 4. Скорость и ускорение движений исполнительным устройством манипулятора.

Определение скорости и ускорения движений характерных точек конструкции и схвата манипулятора. Связь между скоростью и ускорением изменения конфигурации манипулятора.

Тема 5. Пространственное движение двухзвенного манипулятора.

В качестве примера строится математическая модель двухзвенного манипулятора с абсолютно твердыми звеньями и идеальными соединительными шарнирами. Для пространственного движения определяются скорость и ускорение характерных точек и схвата манипулятора.

Тема 6. Математическая модель манипулятора с абсолютно твердыми звеньями и упругими соединительными шарнирами.

Строение математической модели многозвенного манипулятора с учетом упругих свойств соединительных шарниров. Предполагается, что соединительные шарниры обладают упругими свойствами с большой жесткостью. Исследования проводятся асимптотическим методом. Определяется влияние упругости на кинематические величины движения.

Тема 7. Исследование кинематики движения упругого манипулятора асимптотическим методом.

В общем случае исследуется возможность применения асимптотических методов для определения кинематических величин упругого многозвенного манипулятора и оценки величин, обусловленных упругостью.

Тема 8. Построение математической модели манипулятора с упругими звеньями и идеальными соединительными шарнирами.

Строится математическая модель многозвенного манипулятора с предположением, что звенья являются упругими стержнями, а соединительные шарниры идеально цилиндрические. Исследования проводятся в рамках линейной теории упругости с применением асимптотических методов.

Тема 9. Пространственное движение двухзвенного упругого манипулятора (упругие звенья и соединительные шарниры).

В качестве примера строится математическая модель двухзвенного манипулятора с упругими звеньями и упругими соединительными шарнирами. В рамках линейной теории упругости с применением асимптотических методов определяются кинематические величины движения схвата. Определяется также влияние упругости на скорость и ускорение движения схвата манипулятора.

Тема 10. Математическая модель манипулятора с упругими звеньями и упругими соединительными шарнирами.

Обобщаются ранее построенные модели манипулятора с упругими свойствами и дается оценка влияния упругости на кинематику движения многозвенного манипулятора.

Тема 11. Криволинейные координаты. Движение манипулятора в криволинейных координатах.

В ряде случаев удобно исследовать движение манипуляторов (как с абсолютно жесткими, так и упругими свойствами) в криволинейных координатах (цилиндрических, сферических). Определяются параметры движения манипулятора с помощью элементов обобщенной матрицы Ламэ.

Тема 12. О методах построения уравнений динамики движения манипуляционных роботов с учетом конструктивных особенностей. Управляющие воздействия.

Уравнение динамики движения манипулятора строится в виде уравнения Лагранжа второго рода. Для упругих свойств манипулятора уравнение движения строится с применением вариационного принципа Гамильтона – Остроградского. Правыми частями этих уравнений являются управляющие силы и моменты, приложенные к звеньям манипулятора.

Тема 13. Постановка задачи управления и оптимального управления. Критерии оптимальности, фазовые ограничения.

Формулировка задачи управления систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями и уравнениями в частных производных. Возможные критерии оптимальности и ограничения на управляющие воздействия и фазовые ограничения движений.

Тема 14. Методы и алгоритмы оптимального управления. Принцип максимума Понтрягина, методы динамического программирования Беллмана.

Ознакомление слушателей с существующими методами оптимального управления, сравнительный анализ и их преимущества.

Тема 15. О возможности применения методов гарантированного управления в задачах управления с неполной информацией и в условиях неопределенности.

В задачах управления манипуляционных роботов, когда положение целевой точки управляющей стороны известно с некоторой точностью и по мере приближения схвата уточняется непрерывным и скачкообразным методом, на каждом этапе управления имеется возможность применения гарантированного метода.

Тема 16. Устойчивое и оптимальное движение схвата манипулятора по заданной программе.

Определение критериев устойчивости движения исполнительного устройства манипулятора по заданной программе. Методы исследования задач оптимальной стабилизации.

2.2.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционная аудитория

Доска

2.3. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)		Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)	Вес результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1	M2	M1	M2	M1	M2		
Вид учебной работы/контроля								
Контрольная работа <i>(при наличии)</i>				0,7				
Устный опрос <i>(при наличии)</i>								
Тест <i>(при наличии)</i>								
Лабораторные работы <i>(при наличии)</i>								
Письменные домашние задания <i>(при наличии)</i>				0,3				
Реферат <i>(при наличии)</i>								
Эссе <i>(при наличии)</i>								
Проект <i>(при наличии)</i>								
<i>Другие формы (при наличии)</i>								
Весы результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей						0,3		
Весы оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей						0,7		
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							1	

Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0,4
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								0,6
	$\Sigma = 1$							

3. Теоретический блок *(указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)*

3.1. Материалы по теоретической части курса

ЛИТЕРАТУРА

1. Черноусько Ф.Л., Градецкий В.Г., Болотник Н.Н. Манипуляционные роботы. М.; Наука, 1989, 363 с.
2. Черноусько Ф.Л. Динамика систем с упругими элементами большой жесткости. Изв. АН СССР, МТТ, 1983, №4. с. 101-113.
3. Черноусько Ф.Л. О движении твердого тела с упругими и диссипативными элементами. ПММ, 1978, т. 42, вып. 1, с34-42.
4. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами. М.; Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. 478 с.
5. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. М.; Наука, 1967, 467с.
6. Суслов Г.К. Теоретическая механика. ГОСТЕХИЗДАТ, М.-Л., 1946, 655с.
7. Лурье А.И. Аналитическая механика. Изд. Физ.-Мат. Лит., М; 1961, 824с.
8. Красовский Н.Н. Теория управления движением. М.; Наука, 1968, 475 с.
9. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.; Наука, 1976, 392 с.
10. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. М.; Наука, 1975.
11. Малкин И.Г. Теория устойчивости движения. М.; Наука, 1966.
12. Акуленко Л.Д., Михайлов С.А., Черноусько Ф.Л. Моделирование динамики манипулятора с упругими звеньями. // Изв. АН СССР. МТТ. 1981. №3. С.118-124.
13. Митропольский Ю.А. Проблемы асимптотической теории нестационарных колебаний. М.: Наука, 1964. 432 с.
14. Моденов П.С. Аналитическая геометрия. Изд. Московского Ун-та, 1969, 699с.
15. Болотник Н.Н., Гукасян А.А. Управление движением манипулятора с учётом упругих колебаний струны. //Изв. АН СССР. МТТ. 1984. №4. С.38-46.
16. Гукасян А.А. О кинематике многозвенного манипулятора с упругими соединительными узлами и упругими звеньями. Изв. НАН Армении. Механика. 2014. Т. 67, №3. С.68-83.
17. Гукасян А.А. Кинематика упругого манипулятора в криволинейной системе координат. Доклады НАН Армении. 2014. Т. 114. №3. с. 222-229.

18. Гукасян А.А. Уточненные модели многозвенного манипулятора с упругими элементами и кинематический анализ движений. Доклады НАН Армении. 2022. Т. 122. №1. С.14-27.
19. Гукасян А.А. О двух подходах к исследованию кинематики упругих манипуляторов. Изв. НАН Армении. Механика. 2015. Т.68. №2. с.53-67.
20. Гукасян А.А. Движение деформированного твердого тела. Ереван, НАН РА, ГИГУТЮН, 2024, 190 с.

4. Фонды оценочных средств

Контрольная работа: Содержит задачи и теоретические вопросы для проверки понимания и умения применять полученные знания.

5. Методический блок

5.1. Методика преподавания

5.1.1. Методические рекомендации для студентов по подготовке к семинарским, практическим или лабораторным занятиям, по организации самостоятельной работы студентов при изучении конкретной дисциплины.

- Предварительное изучение материалов
- Чтение дополнительной литературы
- Активное участие
- Пересмотр материалов
- Решение задач