

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Х.М. БЕРБЕКОВА (КБГУ)»**

Институт информатики, электроники и робототехники

Кафедра «Мехатроника и робототехника»

СОГЛАСОВАНО
Руководитель ОПОП _____ Х.М. Сенов

УТВЕРЖДАЮ
Директор института _____ Н.В. Черкесова

«_____» _____ 2022 г.

«_____» _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Управление роботами и робототехническими системами»

Направление подготовки
15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль
Промышленная робототехника и робототехнические системы

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
очная

Нальчик 2022

Рабочая программа дисциплины «Управление роботами и робототехническими системами» /сост. З.Х. Калажоков, Болгов Ю.В. – Нальчик: ФГОС ВО КБГУ, 2022 - 24 с.

Рабочая программа предназначена для преподавания дисциплины обязательной части Блока 1 (Б1.О.06.16) студентам очной формы обучения по направлению подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника в 7 семестре.

Рабочая программа составлена в соответствии с рабочим учебным планом и Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования ФГОС 3++ по направлению подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 1023 от 14.08.2020.

Содержание

1	Цели и задачи освоения дисциплины.....	4
2	Место дисциплины в структуре ОПОП ВО.....	4
3	Требования к результатам освоения содержания дисциплины.....	4
4	Содержание и структура дисциплины (модуля).....	5
5	Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.....	11
6	Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности	15
7	Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля).....	20
8	Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	22
9	Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья	22

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения – формирование у студентов знаний о системах и алгоритмах управления роботами и робототехническими системами; формирование умений и навыков инженерной деятельности по разработке алгоритмов управления роботами и робототехническими системами (РТС).

Задачи освоения дисциплины:

- изучение алгоритмов решения прямых и обратных задач кинематики и кинематического управления роботом, средствами вычислительной техники;
- освоение методов управления манипуляторами, на основе их динамической модели;
- изучение алгоритмов планирования и моделирования движений роботов в пространстве обобщенных координат рабочего пространства;
- изучение алгоритмов адаптивного управления роботами;
- изучение принципов построения самонастраивающихся систем управления роботами и РТС;
- развитие навыков работы с компьютером как средством управления информацией и программным управлением роботами и РТС;
- освоение методов и способов кодирования и передачи информации;
- изучение и исследование сенсорных устройств.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина относится к вариативной части блока 1 учебного плана по направлению подготовки 15.03.06 – Мехатроника и робототехника.

Дисциплина преподается посредством чтения лекций и проведения практических и лабораторных занятий.

Дисциплина «Управление роботами и робототехническими системами» обеспечивает логическую взаимосвязь между дисциплинами базовой части профессионального цикла и практическими задачами, решаемыми при проектировании и эксплуатации промышленных роботов и робототехнических систем.

Изучение дисциплины базируется на фундаментальных знаниях в области математики, информатики, физики, механики, электротехники и электроники, теории автоматического управления. Необходимы также знания в области микропроцессорной техники, дискретной математики и теоретической механики.

Полученные при изучении данной дисциплины знания используются при изучении дисциплины «Проектирование роботов и РТС», а также в дипломном проектировании.

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки:

- способностью разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем (ОПК-11);

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- математический аппарат описания манипуляторов в алгебраической и матричной формах записи с учетом взаимного влияния степеней подвижности (31);

- методы управления роботами, основанные на решении обратных задач кинематики и динамики (**32**);
- принципы построения адаптивного управления, разработки их структурных и функциональных схем (**33**);
- алгоритмы динамического управления манипуляторами (**34**);
- алгоритмы планирования траекторий движения манипулятора (**35**);
- методы удаленного терминального управления роботами и РТС (**36**).

Уметь:

- использовать вычислительную технику для решения инженерных задач (**У1**);
- разрабатывать алгоритмы позиционного, контурного и силового управления роботами (**У2**);
- разрабатывать структуры программного и адаптивного управления (**У3**);
- планировать траектории движения манипуляционных систем (**У4**).

Владеть:

- методами кинематического и динамического управления манипуляторами (**В1**);
- навыками разработки алгоритмов управления роботами и РТС (**В2**);
- методами использования актуализированной имитационной модели роботизированных производств для планирования и оперативного управления РТС (**В3**);
- методами удаленного (терминального) управления роботами и РТС (**В4**).

4. Содержание и структура дисциплины (модуля)

4.1. Содержание разделов дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Формируемая компетенция (часть компетенции)	Оценочные средства
1	2	3	4	5
1.	Общие сведения о промышленных роботах, системах управления роботами и РТС.	Понятие промышленного робота. Назначение промышленных роботов, круг решаемых задач. Состав промышленного робота манипулятора. Основные категории манипуляторов, классификация по способу осуществления пространственных перемещений. Декартова, цилиндрическая, сферическая и вращательная (шарнирная) системы координат. Степень свободы звена в кинематической паре, класс кинематической пары. Число степеней свободы (подвижности) кинематической цепи. Классификация манипуляторов по числу степеней подвижности. Узлы манипулятора (рука, запястье). Число степеней свободы запястья, реализуемые	ОПК-11	Тестирование Вопросы на экзамене Практические занятия

		угловые перемещения.		
2.	Математические модели манипуляторов и промышленных роботов.	Системы координат, используемые для описания пространственного положения звеньев манипулятора при решении задач управления роботами. Абсолютная и связанная системы координат. Специальные системы координат, используемые для построения кинематической модели манипулятора для решения задачи управления роботами. Способ построения системы координат Денавита - Хартенберга. Подход к описанию пространственной геометрии манипулятора, основанный на использовании матричной алгебры. Однородные преобразования, матрица однородных преобразований, назначение элементов матрицы, использование в задачах управления роботами. Матрица поворота, используемая для описания вращения одной системы координат относительно другой при решении задач управления роботами. Сложные преобразования систем координат, связанные с последовательностью поворотов и переносов при переходе от одной системы координат к другой, их использование в задачах управления роботами. Определение положения и ориентации звеньев манипулятора относительно абсолютной системы координат по элементам матрицы однородных преобразований.	ОПК-11	Тестирование Вопросы на экзамене Курсовая работа Практические занятия Лабораторные работы
3.	Прямые и обратные задачи о положении и скорости, управление по вектору скорости.	Понятие прямой и обратной задачи кинематики манипулятора при управлении роботами. Прямая позиционная задача управления роботом. Матрицы преобразований, используемые для решения прямой позиционной задачи. Решение	ОПК-11	Тестирование Вопросы на экзамене Курсовая работа Практические занятия Лабораторные

		обратной позиционной задачи при управлении роботом. Способы решения обратной позиционной задачи. Возможность решения обратной задачи с учетом числа степеней свободы манипулятора. Определение скорости звеньев манипулятора.		работы
4.	Динамическое управление манипуляторами.	Предмет динамики манипулятора. Прямая и обратная задача динамики манипулятора. Их роль в организации управления движением манипулятора, динамическое управление движением робота. Выбор системы обобщённых координат при построении динамической модели манипулятора. Вывод уравнения движения манипулятора методами Лагранжа-Эйлера, Ньютона-Эйлера. Способы динамического управления в задачах сборки и механообработки.	ОПК-11	Тестирование Вопросы на экзамене Практические занятия Лабораторные работы
5.	Планирование движений промышленного робота в пространстве обобщённых координат и в рабочем пространстве.	Планирование траекторий движения манипулятора при решении задач управления роботами. Понятие планирования траекторий движения манипулятора в присоединённых и декартовых системах координат при решении задач управления роботами. Определение границ рабочей зоны манипулятора. Предел досягаемости схвата. Сглаживание траекторий манипулятора в пространстве присоединённых переменных. Ограничения, накладываемые на траекторию движения манипулятора в пространстве присоединённых переменных.	ОПК-11	Тестирование Вопросы на экзамене Практические занятия Лабораторные работы
6.	Алгоритмы управления манипуляторами.	Геометрия рабочего пространства манипулятора. Объем рабочего пространства манипулятора. Показатель объема рабочего пространства манипулятора. Теорема Ли-Янга для манипуляционного механизма с	ОПК-11	Тестирование Вопросы на экзамене Практические занятия

		вращательными парами. Максимальное значение показателя Ли-Янга для гипотетического манипулятора, работающего в сферической системе координат. Задачи управления манипулятором, позиционное, контурное, адаптивное управление. Интеллектуальные системы управления.		
7.	Логическое управление сложной робототехнической системой.	Понятие сложной, распределенной РТС. Постановка задачи управления. Основы теории конечных автоматов и сетей Петри. Моделирование многокомпонентных РТС с помощью сетей Петри.	ОПК-11	Тестирование Вопросы на экзамене Практические занятия Лабораторные работы

4.2. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы (144 часа)

Вид работы	Трудоемкость, часов	
	7 семестр	Всего
Общая трудоемкость	144	144
Аудиторная (контактная) работа:	42	42
<i>Лекции (Л)</i>	14	14
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	14	14
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	14	14
Самостоятельная работа, в том числе контактная:	75	75
Самостоятельное изучение разделов	35	35
Курсовая работа (КР)	7	7
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.д.),	33	33
Контроль (подготовка и сдача экзамена)	27	27
Вид итогового контроля (экзамен)	Экзамен	Экзамен

4.3 Лекционные занятия

№	Тема

1	Общие сведения о промышленных роботах, системах управления роботами и РТС.
2	Математические модели манипуляторов и промышленных роботов.
3	Прямые и обратные задачи о положении и скорости.
4	Динамическое управление манипуляторами.
5	Планирование движений промышленного робота в пространстве обобщенных координат и в рабочем пространстве.
6	Алгоритмы адаптивного управления манипуляторами.
7	Логическое управление сложной робототехнической системой.

4.4. Лабораторные работы

№	Наименование лабораторных работ
1.	Прямые и обратные задачи о положении и скорости.
2.	Построение систем координат звеньев для различных типов манипуляторов.
3.	Знакомство с промышленными роботами на примере робота KUKA.
4.	Знакомство с основами работы на роботе KUKA.
5.	Управление роботом KUKA в ручном режиме.
6.	Управление роботом KUKA в автоматическом режиме.
7.	Программирование перемещений
8.	Программирование циклов
9.	Программирование условных переходов

4.5. Практические занятия

№	Тема
1	Построение кинематической схемы промышленного робота, построение системы координат звеньев манипулятора в соответствии с алгоритмом Денавита-Хартенберга. Запись матриц преобразований для звеньев манипулятора.

2	Расчет матрицы перехода от системы координат основания к системе координат связанной с конечным звеном манипулятора. Решение прямой позиционной задачи – определение положения и ориентации конечного звена манипулятора в системе координат связанной с основанием.
3	Решение обратной позиционной задачи манипулятора.
4	Моделирование многокомпонентных РТС с помощью сетей Петри.

4.5 Курсовая работа

Целью выполнения курсовой работы по теме «Кинематика манипулятора» является практическое применение полученных теоретических знаний к самостоятельному расчету кинематики промышленного робота (манипулятора) используемого для осуществления различных технологических операций.

При выполнении курсовой работы студент рассчитывает кинематику конкретного промышленного робота (манипулятора) по заданию преподавателя. Объем курсовой работы: расчетно-пояснительная записка – 30-35 страниц машинописного текста. Графическая часть проекта должна содержать рисунки с кинематическими схемами звеньев промышленного робота (манипулятора) и системы координат звеньев с указанием направлений их осей.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать:

- а) краткое изложение теоретических основ кинематики манипулятора. Понятие прямой и обратной задачи кинематики;
- б) рисунки с кинематическими схемами звеньев промышленного робота (манипулятора) и системы координат звеньев с указанием направлений их осей;
- в) матрицы преобразований при переходе между системами координат смежных звеньев манипулятора и матрицу перехода от системы координат основания манипулятора к системе координат конечного звена;
- г) решение прямой позиционной задачи – определение координат и ориентации конечного звена манипулятора относительно декартовой системы координат основания манипулятора.

Каждый студент получает расписанное на специальном бланке индивидуальное задание на проектирование. Законченная курсовая работа проверяется руководителем и защищается студентом.

Трудозатраты на выполнение курсовой работы составляют 7 часов.

4.7. Самостоятельное изучение разделов дисциплины

№	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение
1.	Общие сведения о промышленных роботах, системах управления роботами и РТС.
2.	Математические модели манипуляторов и промышленных роботов.
3.	Прямые и обратные задачи о положении и скорости, управление по вектору скорости.
4.	Алгоритмы адаптивного управления манипуляторами.
5.	Логическое управление сложной робототехнической системой.

5 Оценочные материалы для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

5.1. Оценочные материалы для текущего контроля успеваемости

Темы для рефератов:

За подготовку и защиту реферата студент может набрать 6 баллов (по 2 балла за три контрольные рейтинговые точки). При подготовке реферата студент должен ознакомиться с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, зарубежные источники, конспект основных положений, терминов, сведений, требующих для запоминания и являющихся основополагающими в этой теме. Необходимо составить аннотации к прочитанным литературным источникам. Структуру реферата студент определяет сам. Оценивание проводится с учетом количества обработанных литературных источников, качества оформления реферата, ответа на вопросы по реферату. Тему для реферата студент может предложить сам, либо выбрать из предложенных.

1. Направления использования промышленных роботов манипуляторов.
2. Системы управления промышленных роботов.
3. Моделирование многокомпонентных робототехнических систем.
4. Решение прямой позиционной задачи на примере конкретного промышленного робота-манипулятора.
5. Динамические характеристики робота-манипулятора.

Тесты:

В рамках балльно-рейтинговых мероприятий студент трижды проходит тестирование на компьютере. В зависимости от процента правильных ответов компьютер выставляет от 0 до 6 баллов. Примеры тестовых заданий, приведены ниже.

При использовании специальной системы координат Денавита – Хартенберга каким осям соответствуют обобщенные координаты звеньев манипулятора?

- Оси X и Y.
- + Только оси Z.
- Только оси Y.
- Оси Z и Y.

Прямая позиционная задача кинематики робота – манипулятора - это?

- + Определение положения и ориентации схвата относительно декартовой системы координат, связанной с рабочим пространством робота.
- Определение динамической нагрузки, действующей на схват при движении манипулятора
- Определение значений обобщенных координат звеньев манипулятора при заданном положении и ориентации схвата в декартовой системе координат, связанной с рабочим пространством манипулятора.
- Определение ускорения схвата манипулятора.

Обратная задача динамики манипулятора?

- + Заключается в том, чтобы по заданным обобщенным координатам, скоростям и ускорениям определить действующие в сочленениях манипулятора силы и моменты.
- Состоит в том, чтобы по заданным силам и моментам определить обобщенные ускорения, интегрирование которых позволит получить значения обобщенных координат и скоростей.
- Состоит в определении ориентации схвата по заданной матрице перехода.
- Состоит в определении скорости перемещения схвата по заданной матрице перехода.

Критерии оценки теста

- 6 баллов - 95-100% правильных ответов;
- 5 баллов- 85-94 % правильных ответов;

- 4 балла - 75-84% правильных ответов;
- 3 балла – 65-74% правильных ответов
- 2 балла – 55-64% правильных ответов
- 1 балл – 45-54% правильных ответов

Лабораторные работы

В методических разработках к лабораторным работам приведены цель и программа работы, основные методические указания к их выполнению, содержание отчета, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы. Пример лабораторной работы:

Пример задания на выполнение лабораторной работы.

Для первых трех звеньев промышленного робота - манипулятора, изображенного на рис. 1 построить системы координат звеньев манипулятора в соответствии с алгоритмом Денавита-Хартенберга (при построении системы координат указать положение начала систем координат звеньев и направления осей). Записать матрицы преобразований и матрицу перехода. Решить прямую позиционную задачу (определить положение точки O_3 в системе координат связанной с основанием манипулятора). Определить ориентацию осей связанной системы координат в точке O_3 относительно декартовой системы координат основания. Определить ориентацию осей системы координат основания относительно связанной системы координат третьего звена манипулятора (точка O_3 на рис.). Данные для решения задачи взять из таблицы. Примечание: $q1$ – угол поворота манипулятора относительно вертикальной оси, $q2$ и $q3$ – углы поворота относительно горизонтальных осей (отсчет углов $q2$ и $q3$ в таблице ведется от горизонтального положения звеньев). Недостающие для расчета размеры выбрать произвольно.

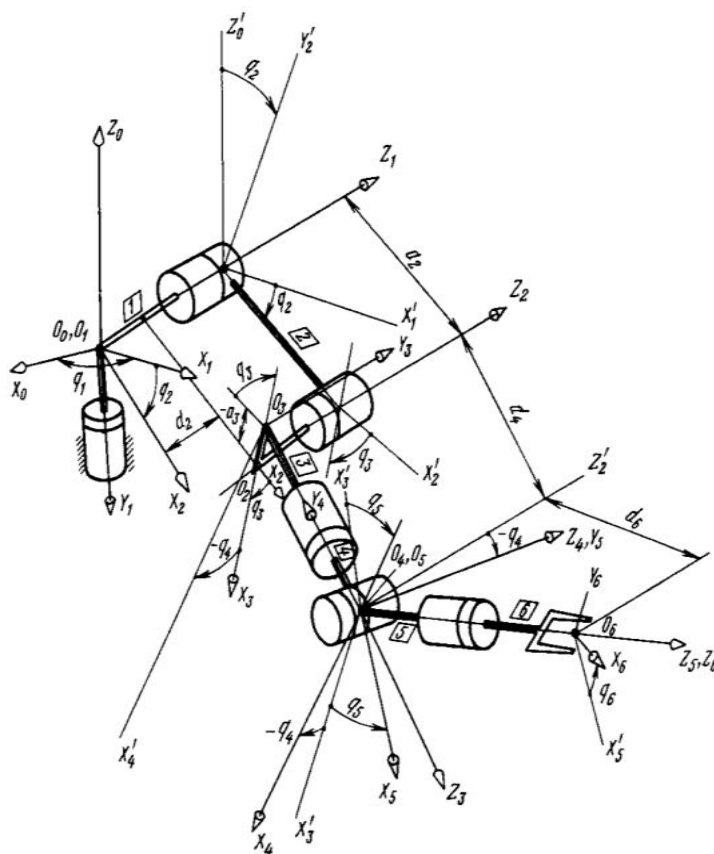


Рис.1 - Промышленный робот - манипулятор

Таблица. Данные для решения прямой позиционной задачи.

№	q1, град	q2, град	q3, град
1	0	0	90

5.2. Оценочные материалы для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проходит в форме защиты выполненной курсовой работы и экзамена в 7 семестре ОФО. Экзаменационный билет включает три теоретических вопроса. На экзамене студент может набрать максимум 30 баллов. При защите курсовой работы, студент может набрать максимум 30 баллов.

Пример задания на выполнение курсовой работы:

Тема работы: «Кинематика промышленного робота – манипулятора»

Пояснительная записка к курсовой работе должна содержать следующие разделы:

1. Краткое изложение теоретических основ кинематики манипулятора. Понятие прямой и обратной задачи кинематики. Степень свободы звена в кинематической паре, класс кинематической пары. Основные категории манипуляторов, классификация по способу осуществления пространственных перемещений -декартова, цилиндрическая, сферическая и

вращательная (шарнирная) системы координат. Прямая позиционная задача управления роботом. Матрицы преобразований, используемые для решения прямой позиционной задачи. Матрица поворота, используемая для описания вращения одной системы координат относительно другой при решении задач управления роботами. Сложные преобразования систем координат, связанные с последовательностью поворотов и переносов при переходе от одной системы координат к другой. Их использование в задачах управления роботами. Специальные системы координат, используемые для построения кинематической модели манипулятора для решения задачи управления роботами, способ построения системы координат Денавита - Хартенберга.

2. Для изображенного на схеме робота KUKA (рис. 1) требуется для первых трех звеньев: Построить кинематическую схему промышленного робота, построить системы координат звеньев манипулятора в соответствии с алгоритмом Денавита-Хартенберга (при построении системы координат указать положение начала систем координат звеньев и направления осей). Записать матрицы преобразований и матрицу перехода. Решить прямую позиционную задачу (определить положение точки A (рис. 2) в системе координат связанной с основанием манипулятора). Определить ориентацию осей связанной системы координат в точке A относительно декартовой системы координат основания. Данные для решения задачи взять из таблицы 1. Примечание: направления отсчета угловых координат в таблице 1 соответствуют рисунку 2.



Рис. 1 - Промышленный робот KUKA KR 16-3

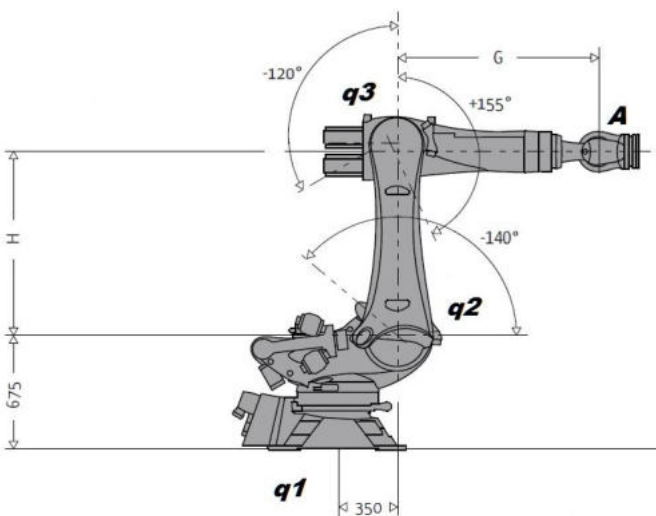


Рис. 2 – Схема робота KUKA (на схеме указаны обобщенные координаты: $q1$ – угол поворота вокруг вертикальной оси; $q2$, $q3$ – углы поворота вокруг горизонтальных осей сочленения звеньев манипулятора).

Таблица 1. Данные для решения прямой позиционной задачи.

№ по списку	$Q1$, град	$Q2$, град	$Q3$, град	H , мм	G , мм
1	0	0	0	700	900

3. Для промышленного робота - манипулятора, изображенного на рис. 3 построить системы координат звеньев манипулятора в соответствии с алгоритмом Денавита-Хартенберга (при построении системы координат указать положение начала систем координат звеньев и направления осей). Записать матрицы преобразований и матрицу перехода. Решить прямую позиционную задачу (определить положение точки O_3 в системе координат связанной с основанием манипулятора). Определить ориентацию осей связанной

системы координат в точке O_3 относительно декартовой системы координат основания. Определить ориентацию осей системы координат основания относительно связанной системы координат третьего звена манипулятора (точка O_3). Данные для решения задачи взять из таблицы 1, все расчеты провести для трех вариантов. Примечание: $Q1$ – угол поворота манипулятора относительно вертикальной оси, $d2$ и $d3$ – координаты линейного перемещения звеньев манипулятора. Решить обратную позиционную задачу – по заданным значениям X , Y и Z в декартовой системе координат связанной с основанием манипулятора, определить координаты $Q1$, $d2$ и $d3$. Данные для решения обратной задачи взять из таблицы 2.

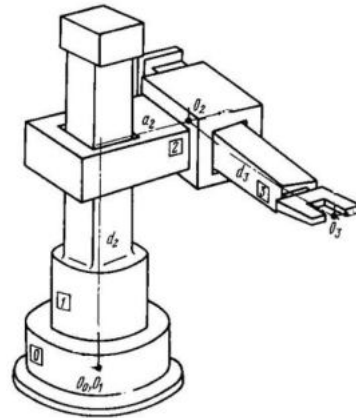


Рис. 3

Промышленный робот - манипулятор

Таблица 2. Данные для решения прямой позиционной задачи.

№	$Q1$, град	$d2$, мм	$d3$, мм	$a2$, мм
1	0 45 90	200	200	200

Таблица 3. Данные для решения обратной позиционной задачи.

№	X , мм	Y , мм	Z , мм	$a2$, мм
1	300	400	200	200

Вопросы к защите курсовой работы

1. Специальные системы координат, используемые для построения кинематической модели манипулятора для решения задачи управления роботами. Способ построения системы координат Денавита - Хартенберга.
2. Определение положения и ориентации звеньев манипулятора относительно абсолютной системы координат по элементам матрицы однородных преобразований.
3. Прямая позиционная задача управления роботом. Матрицы преобразований, используемые для решения прямой позиционной задачи.

Критерии оценки (зачета) при защите курсовой работы.

Защита курсовой работы проходит в устной форме (собеседование) и представляет собой ответы на вопросы.

Вопросы к экзамену

1. Состав промышленного робота (манипулятора), аналогия с рукой человека.
2. Основные категории манипуляторов, классификация по способу осуществления пространственных перемещений. Декартова, цилиндрическая, сферическая и вращательная (шарнирная) системы координат.
3. Понятие рабочего пространства манипулятора.
4. Назначение манипуляторов с большим числом степеней подвижности.
5. Конфигурация рабочего пространства манипулятора. Привести примеры для манипуляторов с различными системами координат пространственного перемещения.
6. Определение границ рабочей зоны манипулятора. Предел досягаемости схвата.
7. Объем рабочего пространства манипулятора. Показатель объема рабочего пространства манипулятора.
8. Понятие промышленного робота (определение).
9. Назначение промышленных роботов, круг решаемых задач.
10. Узлы манипулятора (рука, запястье). Число степеней свободы запястья, реализуемые угловые перемещения.
11. Теорема Ли-Янга для манипуляционного механизма с вращательными парами. Максимальное значение показателя Ли-Янга для гипотетического манипулятора, работающего в сферической системе координат.
12. Число степеней свободы (подвижности) кинематической цепи. Классификация манипуляторов по числу степеней подвижности.
13. Степень свободы звена в кинематической паре, класс кинематической пары. Привести примеры кинематических пар разного класса.
14. Общая постановка задачи планирования траекторий манипулятора.
15. Основы теории конечных автоматов и сетей Петри.
16. Степень свободы звена в кинематической паре, класс кинематической пары. Привести примеры кинематических пар разного класса.
17. Системы координат, используемые для описания пространственного положения звеньев манипулятора при решении задач управления роботами. Абсолютная и связанная системы координат.
18. Специальные системы координат, используемые для построения кинематической модели манипулятора для решения задачи управления роботами. Способ построения системы координат Денавита - Хартенберга.
19. Понятие прямой задачи динамики манипулятора при управлении роботами.
20. Однородные преобразования, матрица однородных преобразований, назначение элементов матрицы, использование в задачах управления роботами.
21. Предмет динамики манипулятора.
22. Методы решения обратной позиционной задачи управления роботом.
23. Понятие задачи управления манипулятором, позиционное, контурное, адаптивное управление.
24. Динамическая модель манипулятора. Метод Лагранжа-Эйлера для получения уравнений динамики манипулятора.
25. Описание движения манипулятора с использованием метода Лагранжа-Эйлера для неконсервативных систем.
26. Определение положения и ориентации звеньев манипулятора относительно абсолютной системы координат по элементам матрицы однородных преобразований.
27. Прямая позиционная задача управления роботом. Матрицы преобразований, используемые для решения прямой позиционной задачи.
28. Понятие обратной задачи динамики манипулятора при управлении роботом.
29. Сложные преобразования систем координат, связанные с последовательностью поворотов и переносов при переходе от одной системы координат к другой. Их использование в задачах управления роботами.

30. Решение обратной позиционной задачи при управлении роботом. Возможность решения обратной задачи с учетом числа степеней свободы манипулятора.
31. Сглаживание траекторий манипулятора в пространстве присоединенных переменных.
32. Обратная задача динамики манипулятора.
33. Понятие прямой и обратной задачи кинематики манипулятора при управлении роботами.
34. Геометрия рабочего пространства манипулятора.
35. Планирование траекторий движения манипулятора при решении задач управления роботами. Общая постановка задачи.
36. Планирование траекторий движения манипуляторов в присоединенных системах координат при решении задач управления роботами.
37. Матрица поворота, используемая для описания вращения одной системы координат относительно другой при решении задач управления роботами.
38. Выбор системы обобщенных координат при построении динамической модели манипулятора.
39. Предмет кинематики манипулятора.
40. Понятие планирования траекторий движения манипулятора в присоединенных и декартовых системах координат при решении задач управления роботами.
41. Планированию траекторий манипулятора в декартовой системе координат (связанной с основанием манипулятора) при решении задач управления роботами.
42. Подход к описанию пространственной геометрии манипулятора, основанный на использовании матричной алгебры.
43. Понятие распределенной РТС.
44. Понятие задачи управления манипулятором, позиционное, контурное, адаптивное управление.
45. Ограничения, накладываемые на траекторию движения манипулятора в пространстве присоединенных переменных.
46. Моделирование многокомпонентных РТС с помощью сетей Петри.

6. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

6.1 Результаты освоения учебной дисциплины, подлежащие проверке

Контролируемые компетенции (часть компетенций)	Индикаторы достижений	Основные показатели оценки результатов	Оценочные средства
Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые	Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов	Обучающийся знает теоретический материал, относящийся к данной компетенции (в том числе знает правила,	практическое занятие, лабораторная работа, тестирование, курсовая работа, экзамен

<p>программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем;(ОПК-11).</p>	<p>электронных устройств, применяемых в мехатронике и робототехнике (ОПК-11.4)</p>	<p>последовательность, алгоритм выполнения действий, умений). Может его воспроизвести (с разной степенью точности), ответить на уточняющие вопросы.</p> <p>- Знает:</p> <p>31 Знать математический аппарат описания манипуляторов в алгебраической и матричной формах записи с учетом взаимного влияния степеней подвижности</p> <p>32 Знать методы управления роботами, основанные на решении обратных задач кинематики и динамики</p> <p>33 Знать принципы построения адаптивного управления, разработки их структурных и функциональных схем</p> <p>34 Знать алгоритмы динамического управления манипуляторами</p> <p>35 Знать алгоритмы планирования траекторий движения манипулятора</p> <p>36 Знать методы удаленного терминального управления роботами и РТС</p> <p>Обучающийся демонстрирует умения (с различной степенью</p>	
--	--	--	--

		<p>самостоятельности), относящийся к данной компетенции.</p> <p>- Умеет:</p> <p>У1 Уметь использовать вычислительную технику для решения инженерных задач</p> <p>У2 Уметь разрабатывать алгоритмы позиционного, контурного и силового управления роботами</p> <p>У3 Уметь разрабатывать структуры программного и адаптивного управления.</p> <p>У4 Уметь планировать траектории движения манипуляционных систем</p>	
		<p>Владение знаниями и умениями, как готовность</p>	

		<p>самостоятельного применения их, демонстрировать, осуществлять деятельность в различных ситуациях, относящихся к данной компетенции. Обучающийся демонстрирует деятельность (способы деятельности). Способен отбирать и интегрировать имеющиеся знания и умения исходя из поставленной цели, проводить самоанализ и самооценку.</p> <p>- Владеет:</p> <p>В1 Владеть методами кинематического и динамического управления манипуляторами</p> <p>В2 Владеть навыками разработки алгоритмов управления роботами и РТС</p> <p>В3 Владеть методами использования актуализированной имитационной модели роботизированных производств для планирования и оперативного управления РТС</p> <p>В4 Владеть методами удаленного (терминального) управления роботами и РТС</p>	
--	--	---	--

6.2 Шкала оценивания планируемых результатов обучения

6.2.1 Текущий и рубежный контроль

В рамках текущего и рубежного контроля по дисциплине студент может набрать до 70 баллов

Семестр	Шкала оценивания			
	0-35 баллов	36-50 баллов	51-60 баллов	61-70 баллов
7	Частичное посещение аудиторных занятий. Неудовлетворительное выполнение лабораторных и практических работ. Плохая подготовка к балльно-рейтинговым мероприятиям. Студент не допускается к промежуточной аттестации	Полное или частичное посещение аудиторных занятий. Частичное выполнение и защита лабораторных и практических работ. Выполнение контрольных работ, тестовых заданий на оценки «удовлетворительно».	Полное или частичное посещение аудиторных занятий. Полное выполнение и защита лабораторных и практических работ. Выполнение контрольных работ, тестовых заданий на оценки «хорошо».	Полное посещение аудиторных занятий. Полное выполнение и защита лабораторных и практических занятий. Выполнение контрольных работ, тестовых заданий на оценки «отлично».

В рамках текущего и рубежного контроля выполнения курсовой работы студент может набрать 70 баллов. Распределение баллов приведено в таблице:

Семестр	Шкала оценивания			
	0-35 баллов	36-50 баллов	51-60 баллов	61-70 баллов
7	Студент не посещал консультации с преподавателем. Неудовлетворительное выполнение составных частей курсовой работы. Студент не допускается к защите курсовой работы	Частичное посещение консультаций с преподавателем. Выполнение курсовой работы с отставанием от графика. Составные части курсовой работы выполнены не полностью, либо допущены ошибки.	Полное или частичное посещение консультаций с преподавателем. Составные части курсовой работы выполнены полностью, но с отставанием от графика, либо допущены незначительные огрехи.	Полное посещение консультаций с преподавателем. Безошибочное решение всех задач, поставленных в курсовой работе без отставания от графика.

6.2.2 Промежуточная аттестация

Оценка результатов освоения учебной дисциплины в 6 семестре проводится по шкале, используемой на экзамене:

Семестр	Шкала оценивания
---------	------------------

	Неудовлетворительно (36-60 баллов)	Удовлетворительно (61-80 баллов)	Хорошо (81-90 баллов)	Отлично (91-100 баллов)
7	Студент имеет 36-60 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене не дал полного ответа ни на один вопрос. Студент имеет 36-45 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене дал полный ответ только на один вопрос	Студент имеет 36-50 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене дал полный ответ на один вопрос и частично (полностью) ответил на второй. Студент имеет 46-60 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене дал полный ответ на один вопрос или частично ответил на оба вопроса. Студент имеет по итогам текущего и рубежного контроля 61-70 баллов на экзамене не дал полного ответа ни на один вопрос.	Студент имеет 51-60 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене дал полный ответ на один вопрос и частично (полностью) ответил на второй. Студент имеет 61 – 65 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене дал полный ответ на один вопрос и частично ответил на второй. Студент имеет 66-70 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене) дал полный ответ только на один вопрос.	Студент имеет 61-70 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене дал полный ответ на один вопрос и частично (полностью) ответил на второй.

На защите курсовой работы студент может набрать 30 баллов.

Для оценки защиты курсовых работ используется следующая схема:

Объект оценки	Критерии	Максимальный балл
Оформление работы	Соответствует полностью требованиям	10
	Соответствует частично требованиям	5
	Не соответствует требованиям	0
Оценка на защите	Владеет материалом	20
	Частично владеет материалом	10
	Не владеет материалом	0

Шкала соответствия рейтинговых оценок пятибалльным оценкам для оценивания курсовой работы

Рейтинговая оценка (в баллах)	Оценка по пятибалльной шкале
91-100	«отлично»
81-90	«хорошо»
61-80	«удовлетворительно»
менее 61	«неудовлетворительно»

7 Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля)

7.1 Основная литература

1. Подураев, Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение : учебное пособие / Ю. В. Подураев. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 256 с. — ISBN 978-5-4497-0063-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/86501.html>
2. Кравцов, А. Г. Основы промышленной робототехники : учебное пособие для СПО / А. Г. Кравцов, К. В. Марусич. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 95 с. — ISBN 978-5-4488-0312-3, 978-5-4497-0195-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/85794.html>
3. Основы робототехники : учебное пособие / В. С. Глухов, А. А. Дикой, Р. А. Галустов, И. В. Дикая. — Армавир : Армавирский государственный педагогический университет, 2019. — 308 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/82448.html>
4. Сторожев, В. В. Системотехника и мехатроника технологических машин и оборудования : монография / В. В. Сторожев, Н. А. Феоктистов ; под редакцией Н. А. Феоктистова. — М. : Дашков и К, 2018. — 412 с. — ISBN 978-5-394-02468-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/85736.html>
5. Киселёв, М. М. Робототехника в примерах и задачах : курс программирования механизмов и роботов / М. М. Киселёв, М. М. Киселёв. — М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2017. — 136 с. — ISBN 978-5-91359-235-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/80564.html>
6. Пономарева, Ю. С. Практикум по основам робототехники. Задачи для Lego mindstorms nxt и ev3 : учебно-методическое пособие / Ю. С. Пономарева, Т. В. Шемелова. — Волгоград : Волгоградский государственный социально-педагогический университет, 2016. — 36 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/54361.html>
7. Машков, К. Ю. Состав и характеристики мобильных роботов : учебное пособие по курсу «Управление роботами и робототехническими комплексами» / К. Ю. Машков, В. И. Рубцов, И. В. Рубцов. — М. : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2014. — 76 с. — ISBN 978-5-7038-3866-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/31637.html>
8. Образовательная робототехника : учебно-методический комплекс дисциплины / составители А. С. Соболевский, Э. Ф. Шарипова. — Челябинск : Челябинский государственный педагогический университет, 2014. — 32 с. — ISBN 2227-8397. —

7.2 Дополнительная литература

1. Булгаков А. Г., Воробьев В.А. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление. –М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2007. – 488 с.
2. Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем. Учеб. Пособие. –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 384с.
3. Интеллектуальные роботы: учебное пособие для вузов/ под ред. Е.И. Юревича. –М.: Машиностроение, 2007 -360с.
4. Робототехнические системы и комплексы: Учеб. Пособие для вузов/ Мачульский И.И, Запятой В.П., Майоров Ю.П. и др. М.: Транспорт 1999. 446 с.

7.3 Перечень методических указаний

Сенов Х.М., Болгов Ю.В. Управление роботами и робототехническими системами. Кинематика манипулятора. Методические указания по выполнению курсовой работы. Нальчик 2015.

1. Периодические издания

1. *"МЕХАТРОНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ"*.

7.5 Интернет-ресурсы

1. Wikipedia – свободная энциклопедия. - <http://ru.wikipedia.org/>.
2. <http://www.kuka-robotics.com/russia/ru>
3. <http://www.iprbookshop.ru/>

7.6 Программное обеспечение современных информационно-коммуникационных технологий

- Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Стандартный Russian Edition.
 - МойОфис Стандартный
 - Acrobat Pro DC for teams ALL Multiple Platforms Multi European Languages Level 1 –ABBYY FineReader 15 Business
- Программный комплекс “Компас” для построения кинематических схем звеньев манипулятора.

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Требования к условиям реализации дисциплины:

№ п/п	Вид аудиторного фонда	Требования
1.	Лекционная аудитория	Оснащение специализированной учебной мебелью. Оснащение техническими средствами обучения: настенный экран с дистанционным управлением, мультимедийное оборудование.
2.	Кабинет для практических занятий	Оснащение специализированной учебной мебелью. Оснащение техническими средствами обучения: подвижная маркерная доска, считывающее устройство для передачи информации в компьютер; настенный экран с дистанционным управлением, мультимедийное оборудование.
3.	Компьютерные классы	Оснащение специализированной учебной мебелью. Оснащение техническими средствами обучения: ПК с возможностью подключения к локальным сетям и Интернету. Наличие ВТ из

	расчета один ПК на два студента.
--	----------------------------------

Перечень материально-технического обеспечения дисциплины:

№ п/п	Вид и наименование оборудования	Вид занятий	Краткая характеристика
1.	IBM PC - совместимые персональные компьютеры.	Практические занятия.	Процессор серии не ниже Pentium IV. Оперативная память не менее 512 Мбайт. ПК должны быть объединены локальной сетью с выходом в Интернет.
2.	Мультимедийные средства.	Лекционные и практические занятия.	Демонстрация с ПК электронных презентаций, документов, электронных таблиц, графических изображений.
3.	KR-16.	Практические занятия.	Промышленные роботы – манипуляторы «KUKA»

№ работ	Материальное обеспечение лабораторных занятий
1	2
	1. Промышленные роботы – манипуляторы «KUKA» - KR-16. 2. IBM PC - совместимые персональные компьютеры.

9 Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с ограниченными возможностями здоровья созданы специальные условия для получения образования. В целях доступности получения высшего образования по образовательным программам инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья университетом обеспечивается:

1. Альтернативная версия официального сайта в сети «Интернет» для слабовидящих;
2. Для инвалидов с нарушениями зрения (слабовидящие, слепые)
 - присутствие ассистента, оказывающего обучающемуся необходимую помощь, дублирование вслух справочной информации о расписании учебных занятий; наличие средств для усиления остаточного зрения, брайлевской компьютерной техники, видеоувеличителей, программ не визуального доступа к информации, программ-синтезаторов речи и других технических средств приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями зрения;
 - задания для выполнения на экзамене зачитываются ассистентом;
 - письменные задания выполняются на бумаге, надиктовываются ассистенту обучающимся;
3. Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху (слабослышащие, глухие):
 - на зачете/экзамене присутствует ассистент, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (он помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе записывая под диктовку);
 - зачет/экзамен проводится в письменной форме;

4. Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, созданы материально-технические условия обеспечивающие возможность беспрепятственного доступа обучающихся в учебные помещения, объекту питания, туалетные и другие помещения университета, а также пребывания в указанных помещениях (наличие расширенных дверных проемов, поручней и других приспособлений).

- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением или надиктовываются ассистенту;

- по желанию студента экзамен проводится в устной форме.

Обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечены электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.