

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра воспроизводства и переработки лесных ресурсов

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

_____ Е.И. Луковникова

« ____ » _____ 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

РОБОТЫ И МАНИПУЛЯТОРЫ В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ

Б1.В.11.02

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

15.03.02 Технологические машины и оборудование

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ

Машины и оборудование лесного комплекса

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

| | |
|--|-----------|
| 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ | 3 |
| 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ | 3 |
| 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ..... | 4 |
| 3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения..... | 4 |
| 3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости | 4 |
| 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ | 5 |
| 4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий | 5 |
| 4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам | 5 |
| 4.3 Лабораторные работы..... | 6 |
| 4.4 Практические занятия..... | 6 |
| 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат..... | 6 |
| 5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ | 8 |
| 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ..... | 9 |
| 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ..... | 9 |
| 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ | 9 |
| 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ..... | 10 |
| 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ... | 11 |
| 9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы..... | 37 |
| 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ | 38 |
| 11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ..... | 38 |
| Приложение 1 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине..... | 39 |
| Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины | 42 |
| Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе | 43 |

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, к проектно-конструкторскому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель дисциплины

Изучить основы робототехники и конструкции манипуляторов, используемых в лесозаготовительной промышленности.

Задачи дисциплины

Сформировать знания о машинах манипуляторного типа, принципах их действия и устройстве, основных параметрах, классификации и области применения.

| Код компетенции | Содержание компетенций | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине |
|-----------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| ПК-9 | умение применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению | знать: - причины нарушения технологических процессов и мероприятия по их предупреждению. уметь: - применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности. владеть: - навыками по выявлению причин нарушения технологических процессов. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.11.02 Роботы и манипуляторы в лесном комплексе относится к обязательным дисциплинам вариативной части.

Дисциплина Роботы и манипуляторы в лесном комплексе базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как: Методы и технические средства автоматизации.

Основываясь на изучении дисциплины, Роботы и манипуляторы в лесном комплексе представляет основу для изучения дисциплин: Проектирование самоходных лесных машин.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

| Форма обучения | Курс | Семестр | Трудоемкость дисциплины в часах | | | | | | Контрольная работа | Вид промежуточной аттестации |
|-------------------------------|------|---------|---------------------------------|------------------|--------|---------------------|----------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|
| | | | Всего часов (с экз.) | Аудиторных часов | Лекции | Лабораторные работы | Практические занятия | Самостоятельная работа | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Очная | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Заочная | 4 | - | 108 | 12 | 6 | - | 6 | 92 | - | зачет |
| Заочная (ускоренное обучение) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Очно-заочная | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

| Вид учебных занятий | Трудоемкость (час.) | в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.) | Распределение по курсам, час |
|--|---------------------|--|------------------------------|
| | | | 4 |
| I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего) | 12 | 4 | 12 |
| Лекции (Лк) | 6 | 2 | 6 |
| Практические занятия (ПЗ) | 6 | 2 | 6 |
| Групповые (индивидуальные) консультации | + | - | + |
| II. Самостоятельная работа обучающихся (СР) | 92 | - | 92 |
| Подготовка к практическим занятиям | 72 | - | 72 |
| Подготовка к зачету | 20 | - | 20 |
| III. Промежуточная аттестация зачет | + | - | + |
| Общая трудоемкость дисциплины | час. | 108 | 108 |
| | зач. ед. | 3 | 3 |

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для заочной формы обучения:

| № раздела и тем | Наименование раздела и тема дисциплины | Трудоемкость, (час.) | Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.) | | |
|-----------------|--|----------------------|---|----------------------|------------------------------------|
| | | | учебные занятия | | самостоятельная работа обучающихся |
| | | | лекции | практические занятия | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1. | Роботы и манипуляторы | 104 | 6 | 6 | 92 |
| 1.1. | Промышленные роботы | 104 | 6 | 6 | 92 |
| | ИТОГО | 104 | 6 | 6 | 92 |

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

| № раздела и темы | Наименование раздела и темы дисциплины | Содержание лекционных занятий | Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.) |
|------------------|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | Роботы и манипуляторы | <p>Основным направлением развития машиностроения является повышение эффективности производства (увеличение выпуска продукции и рост ее качества при одновременном снижении трудовых затрат). Это обеспечивается совершенствованием существующих и внедрения новых видов оборудования, технологических процессов и средств их механизации и автоматизации, а также улучшения организации и управления производством.</p> <p>Совершенствование средств автоматизации должно развиваться в двух направлениях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - создание средств автоматизации выпускаемого и действующего в настоящее время оборудования с целью повышения его эффективности; - создание новых технологических комплексов, где связаны вопросы повышения производительности, надежности, уровня автоматизации качества с необходимой и экономически оправданной гибкостью для быстрой перенастраиваемости с целью перехода к выпуску другой продукции. | - |
| 1.1. | Промышленные роботы | <p><u>Промышленный робот (ПР)</u> – это универсальное, автономное и автоматическое устройство с памятью и программным управлением, предназначенное для воспроизведения двигательных и некоторых умственных функций человека при выполнении основных и вспомогательных производственных операциях. Основной частью ПР являются манипуляторы.</p> <p>По уровню сложности работы и его устройства разделяются на 3 поколения:</p> <p><u>1 поколение</u> – это роботы, имеющие только память, обучающую и адаптивные системы;</p> <p><u>2 поколение</u> – это роботы с частично самоорганизующейся системой управления обучения и адаптации от ЭВМ;</p> | Лекция-беседа (2 час.) |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| | | <p><u>3 поколение</u> – это роботы с самоорганизующейся системой управления и «органами чувств».</p> <p>К общей характеристике ПР относятся следующие показатели:</p> <ul style="list-style-type: none"> - характеристика РТЯ; - характеристика рабочей зоны ПР; - технологическая характеристика РТЯ; - характеристика объекта; - Характеристику ЗУ. <p>В общем виде их механическая система состоит из следующих элементов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>опоры</u>, в виде основания или передвижных тележек напольного или подвесного типа; - <u>корпуса робота</u> различной формы с смонтированными в него механизмами подъема и поворота руки и перемещения робота; - <u>корпус руки</u> робота с смонтированными в него механизмами перемещения руки, звена, а в некоторых случаях, и захвата руки; - руки робота с одним или несколькими звеньями; - <u>захватного устройства</u>. <p>Элементы автоматики разделяются на четыре группы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. датчики 2. анализаторы 3. промежуточные устройства 4. устройства для выполнения основных функций систем управления или исполнительных механизмов 5. устройства опознания приводы. | |

4.3. Лабораторные работы

учебным планом не предусмотрено

4.4. Практические занятия

| <i>№ п/п</i> | <i>Номер раздела дисциплины</i> | <i>Наименование тем практических занятий</i> | <i>Объем (час.)</i> | <i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i> |
|------------------|---|--|-------------------------|--|
| 1 | 1. | Кинематика манипулятора промышленного робота | 1 | тренинг (1 час.) |
| 2 | | Динамика манипулятора промышленного робота | 1 | тренинг (1 час.) |
| 3 | | Управление манипулятором промышленного робота | 1 | - |
| 4 | | Ощущение промышленного робота | 1 | - |
| 5 | | Система технического зрения | 1 | - |
| 6 | | Расчет траектории перемещения промышленного робота | 1 | - |
| ИТОГО | | | 6 | 2 |

4.5. Контрольные мероприятия

учебным планом не предусмотрены

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И
ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

| <i>№, наименование разделов дисциплины</i> | <i>Кол-во часов</i> | <i>Компетенции</i> | <i>Σ комп.</i> | <i>t_{ср}, час</i> | <i>Вид учебных занятий</i> | <i>Оценка результатов</i> |
|--|-------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| | | <i>ПК</i> | | | | |
| | | <i>9</i> | | | | |
| <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> |
| 1. Роботы и манипуляторы | 108 | + | 1 | 108 | Лк, ПЗ, СР | зачет |
| всего часов | 108 | 108 | 1 | 108 | | |

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Климов, А. С. Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке: учебное пособие / А. С. Климов, Н. Е. Машнин. - 2-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург: Лань, 2011. - 240 с. (Глава 1 стр. 7-52, Глава 2 стр. 52-93, Глава 5 стр. 141-223);

2. Схиртладзе А.Г., Федотов А.В., Хомченко В.Г., Моисеев В.Б. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко, В.Б. Моисеев. - Пенза: ПензГТУ, 2015. – 442 с.

http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=437131 (Глава 1 стр. 6-10, Глава 2 стр. 11-27).

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| № | Наименование издания | Вид занятия | Кол-во экземпляров в библиотеке, шт. | Обеспеченность (экз/чел) |
|----------------------------------|---|-------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Основная литература | | | | |
| 1. | Автоматизация технологических процессов и производств: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко, В.Б. Моисеев. - Пенза: ПензГТУ, 2015. – 442 с. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=437131 | Лк, ПЗ, СР | 1 (ЭУ) | 1 |
| Дополнительная литература | | | | |
| 2. | Гончаревич И. Ф. Основы робототехники. Механизмы выдвижения и поворота робота-погрузчика с пневмоприводом: методические рекомендации / И.Ф. Гончаревич, К.С. Никулин. - М.: Альтаир-МГАВТ, 2014. – 63 с. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=429847 | ПЗ | 1 (ЭУ) | 1 |
| 3. | Климов, А. С. Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке: учебное пособие / А. С. Климов, Н. Е. Машнин. - 2-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург: Лань, 2011. - 240 с. https://e.lanbook.com/reader/book/1804/#1 | Лк, СР | 1 (ЭУ) | 1 |
| 4. | Егоров О. Д. Механика роботов: учебное пособие / М.: Альтаир-МГАВТ, 2007. – 224 с. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=429843 | Лк, ПЗ | 1 (ЭУ) | 1 |

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ
http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=

2. Электронная библиотека БрГУ <http://ecat.brstu.ru/catalog>.

3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»
<http://biblioclub.ru>.

4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com>.
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru>.
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru>.
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ) <https://uisrussia.msu.ru/>.
8. Национальная электронная библиотека НЭБ <http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search>.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины предполагает усвоение теоретического материала на лекциях, выполнение практических работ с целью проработки лекционного материала, применение изученного материала для выполнения заданий по самостоятельной работе, а также промежуточный контроль в виде зачета.

Основной задачей лекции является раскрытие содержания темы, разъяснение ее значения, выделение особенностей изучения. В ходе лекции устанавливается связь с предыдущей и последующей темами, а также с другими областями знаний, определяются направления самостоятельной работы студентов.

В конце лекции преподаватель ставит задачи для самостоятельной работы, дает рекомендации по изучению литературы, оптимальной организации самостоятельной работы, чтобы при наименьших затратах времени получить наиболее высокие результаты.

С целью успешного освоения лекционного материала рекомендуется осуществлять его конспектирование. Механизм конспектирования лекции составляют: - восприятие смыслового сегмента речи лектора с одновременным выделением значимой информации; - выделение информации с ее параллельным свертыванием в смысловой сегмент; - перенос смыслового сегмента в знаковую форму для записи посредством выделенных опорных слов; - запись смыслового сегмента с одновременным восприятием следующей информации.

На лекциях, темы и разделы дисциплины, освящаются в связке и логической последовательности. Рекомендуется особое внимание обращать на проблемные моменты, акцентируемые преподавателем. Именно на эти моменты будет обращено внимание при проведении практических занятий и на промежуточном контроле.

В основе подготовки к практическим занятиям лежит самостоятельная работа обучающихся по заданиям, заранее выданным преподавателем, и работа с учебной и методической литературой. Практические занятия направлены на развитие у обучающихся навыков самостоятельной работы над литературными источниками, коллективное обсуждение наиболее важных проблем изучаемого курса, решение практических задач и разбор конкретных ситуаций.

Основные цели и задачи, которые должны быть достигнуты в ходе выполнения самостоятельной работы, следующие: углубление и закрепление знаний по дисциплине; способствование развитию у обучающегося навыков работы с научной литературой, статистическими данными; развитие навыков практического применения полученных знаний; формирование у обучающегося навыков самостоятельного анализа.

Самостоятельную работу по дисциплине следует начать сразу же после занятия. Для работы необходимо ознакомиться с учебным планом группы и установить, какое количество часов отведено в целом на изучение дисциплины, а также на самостоятельную работу. Далее следует ознакомиться с графиком организации самостоятельной работы обучающихся и строить свою самостоятельную работу в течение семестра в соответствии с данным графиком. При этом целесообразно начинать работу по любой теме дисциплины с изучения теоретической части. Далее, по темам, содержащим эмпирический материал, следует изучить и проанализировать статистические данные. Теоретический и эмпирический материал обучающемуся необходимо изучать в течение семестра в соответствии с темами, указанными в графике. Кроме того, по эмпирическому материалу следует описать результаты анализа статистических данных в форме таблицы, диаграммы, тезисов.

В целях более эффективной организации самостоятельной работы обучающимся следует ознакомиться с нормативными актами и специальной литературой, рекомендуемыми преподавателем, а также списком вопросов к зачету.

Зачет служит формой проверки выполнения обучаемым практических занятий. Зачет принимается преподавателем, читающим лекции по данной дисциплине, в устной форме, по средствам выдачи обучающемуся контрольных вопросов. Прием зачетов проводится в последнюю неделю семестра в часы, отведенные для изучения соответствующей дисциплины. Результаты сдачи зачетов оцениваются «зачтено» или «не зачтено» и заносятся в экзаменационную ведомость, зачетную книжку. Оценка «не зачтено» заносится только в экзаменационную ведомость.

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ

Практическое занятие №1 Кинематика манипулятора промышленного робота

Цель работы: изучить методику определения кинематики манипулятора промышленного робота.

Задание:

1. Ознакомится с методикой определения кинематики манипулятора;
2. Ознакомится с прямой и обратной задачей кинематики.

Порядок выполнения:

Предметом кинематики манипулятора является аналитическое описание геометрии движения манипулятора относительно некоторой заданной абсолютной системы координат без учёта сил и моментов, порождающих это движение. Таким образом, задачей кинематики является аналитическое описание пространственного расположения манипулятора в зависимости от времени и, в частности, установление связи между значениями присоединённых координат манипулятора и положением и ориентацией его схвата в декартовом пространстве.

Механический манипулятор можно рассматривать как разомкнутую цепь, которая состоит из нескольких твёрдых звеньев, последовательно соединённых вращательными или поступательными сочленениями, приводимых в движение силовыми приводами.

Основные задачи кинематики манипулятора:

1. Для конкретного манипулятора по известному вектору присоединённых углов (обобщённых координат и заданным геометрическим параметром звеньев (n – число степеней свободы) определить положение и ориентацию схвата манипулятора относительно абсолютной системы координат.

2. При известных геометрических параметрах звеньев найти все возможные векторы присоединённых переменных манипулятора, обеспечивающие заданное положение и ориентацию схвата относительно абсолютной систем координат.

Первую из этих задач принято называть прямой, а вторую – обратной задачей кинематики манипулятора.

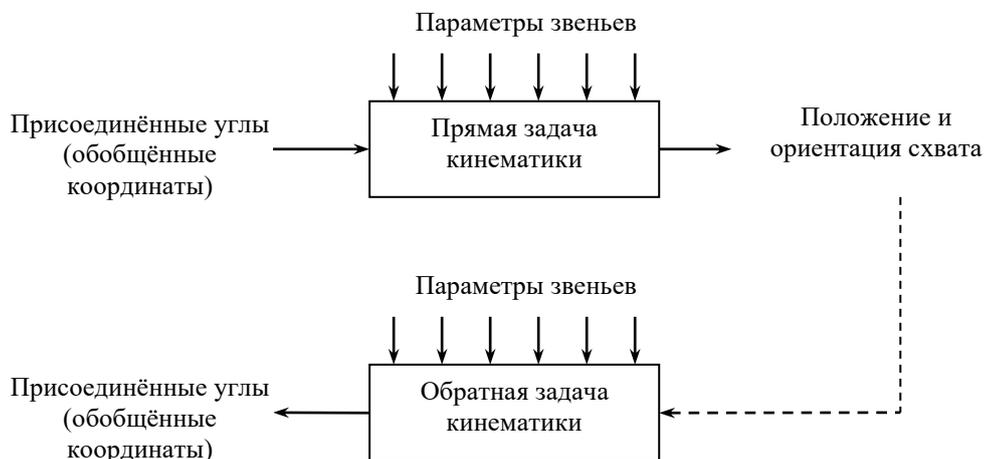


Рисунок 2. Схема взаимосвязи прямой и обратной задач кинематики

Для описания взаимного пространственного положения двух смежных звеньев используют однородную матрицу преобразования размерностью 4×4 .

Прямая задача кинематики

Для систематического и обобщённого подхода к описанию и представлению расположения звеньев манипулятора (исполнительных механизмов робота) относительно заданной абсолютной системы координат применяют матричную и векторную алгебру.

Звенья манипулятора могут совершать вращательное и/или поступательное движение относительно абсолютной системы координат, оси которой параллельны осям сочленений звеньев. Прямая задача кинематики сводится к определению матрицы преобразования, устанавливающей связь между абсолютной и связанной системами координат. Для описания вращательного движения связанной системы отсчёта относительно абсолютной используется матрица поворота (вращения) размерностью 3×3 . Для поступательного движения используется матрица однородного преобразования размерностью 4×4 .

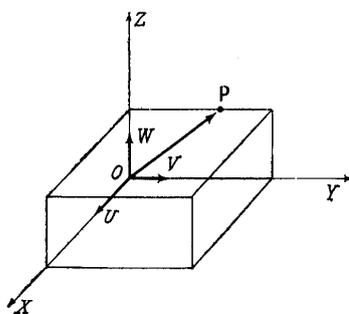


Рисунок 3. Абсолютная и связанная системы координат

Свойства матриц поворота.

1. Каждый столбец матрицы поворота представляет собой единичный вектор в направлении соответствующей оси повёрнутой системы отсчёта, заданной своими координатами относительно абсолютной системы координат.

2. Каждая строка матрицы поворота представляет собой единичный вектор в направлении соответствующей оси абсолютной системы координат, заданной своими координатами относительно повёрнутой системы отсчёта.

3. Поскольку каждый столбец и строка представляет собой координаты единичного вектора, длина векторов, определяемых строками и столбцами матрицы поворота, равна 1. Детерминант матрицы поворота равен +1 для правосторонней системы отсчёта и -1 – для левосторонней.

4. Поскольку столбцы (строки) матрицы поворота являются векторами, составляющими ортонормированный базис, скалярное произведение векторов, определяемых двумя различными столбцами (строками), равно нулю.

5. Операция обращения матрицы поворота совпадают с операцией транспонирования.

Звенья, сочленения и их параметры

Механический манипулятор состоит из звеньев, соединенных вращательными или поступательными сочленениями (рис. 4). Каждая пара, состоящая из звена и сочленения, обеспечивает одну степень свободы. Следовательно, манипулятор с N степенями свободы содержит N пар «звено-шарнир». Звено 0 соединено с основанием, где обычно размещается инерциальная система координат динамической системы, а последнее звено снабжено рабочим инструментом.

Звенья и сочленения нумеруются по возрастанию от стойки к схвату манипулятора. Каждое звено соединено не более чем с двумя другими так, чтобы не образовывалось замкнутых цепей.

В общем случае два звена соединяются элементарным сочленением, имеющим две соприкасающиеся поверхности, скользящие друг относительно друга.

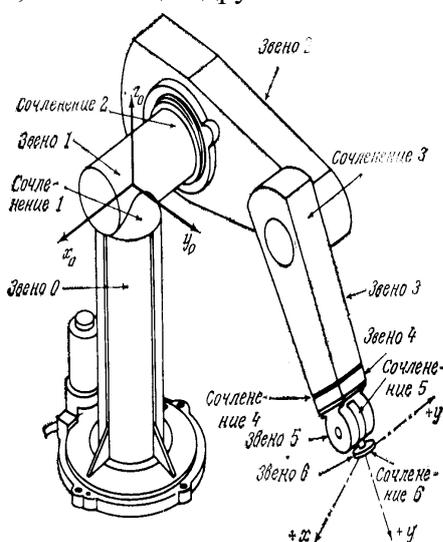


Рисунок 4. Звенья и сочленения манипулятора Пума.

Известно всего шесть различных элементарных сочленений: вращательное, поступательное (призматическое), цилиндрическое, сферическое, винтовое и плоское (рис. 5). Из перечисленных типов сочленений в манипуляторах обычно используются только вращательные и поступательные. В месте соединения двух звеньев определяется ось i -го сочленения (рис. 5). Эта ось имеет две пересекающиеся ее нормали, каждая из которых соответствует одному из звеньев (звена $i-1$ и звена i), определяется величиной d_i – расстоянием между этими нормальными, отсчитываемым вдоль оси сочленения.

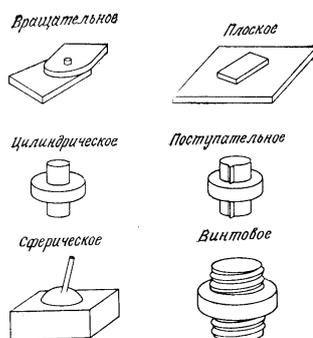


Рисунок 5. Элементарные сочленения

Обратная задача кинематики

Для того, чтобы решение обратной задачи кинематики было получено в явном виде, необходимо, чтобы конструкция робота удовлетворяла одному из двух условий:

1. Оси трех смежных сочленений пересекаются в одной точке.
2. Оси трех смежных сочленений параллельны между собой.

Приравнивая элементы матриц в левой и правой частях матричного уравнения, получаем, уравнения относительно шести неизвестных (присоединенных углов). Поскольку число уравнений превышает число переменных, можно сразу сделать вывод о том, что решение обратной задачи кинематики для манипулятора не единственно. Мы рассмотрим два метода решения обратной задачи кинематики: метод обратных преобразований в эйлеровых координатах и геометрический подход, выгодно отличающийся наглядностью.

Геометрический подход

В этом разделе излагается геометрический подход к решению обратной задачи кинематики шестизвенного манипулятора с вращательными сочленениями типа Пума.

По аналогии с геометрией человеческой руки и в соответствии с расположением систем координат звеньев различные конфигурации манипулятора Пума определяются с помощью трех индикаторов конфигурации (РУКА, ЛОКОТЬ, ЗАПЯСТЬЕ). Два индикатора характеризуют взаимное расположение первых трех сочленений, а третий – расположение последних трех. Для шестиосных манипуляторов типа Пума существуют четыре различных решения обратной задачи кинематики первых трех сочленений и каждому из этих четырех решений соответствует по два допустимых решения для последних трех сочленений.

Решение производится в два этапа.

I этап. Сначала вычисляется вектор, направленный от плеча к запястью. Проекция этого вектора на плоскость используются при нахождении присоединенного угла сочленения для первых трех сочленений.

II этап. Использование предыдущего решения для решения последних трех сочленений, подматрицы поворота матриц и проекции систем координат звеньев на плоскость.

Определение различных конфигураций манипулятора

Для манипуляторов типа Пума и других манипуляторов с вращательными сочленениями возможны различные типы конфигурации, которые определяются по аналогии с геометрией руки человека. Типы конфигурации манипулятора устанавливаются следующим образом (рис. 6):

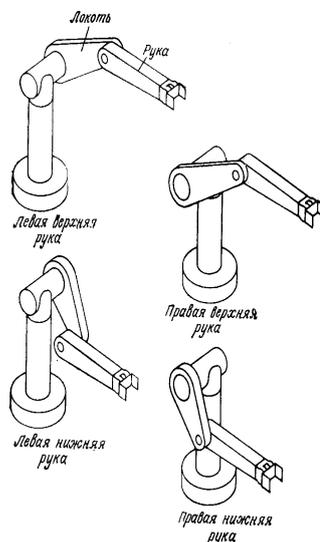


Рисунок 6. Определение различных конфигураций манипулятора

ПРАВАЯ РУКА: При неподвижном 3-м сочленении увеличение угла приводит к увеличению координаты запястья по оси z_0 .

ЛЕВАЯ РУКА: При неподвижном 3-м сочленении увеличение угла приводит к уменьшению координаты запястья по оси z_0 .

ВЕРХНЯЯ (локоть выше запястья) РУКА: Положение запястья {ПРАВОЙ/ЛЕВОЙ} руки по отношению к системе координат плеча характеризуется {отрицательным/положительным} значением координаты по оси y_2 .

НИЖНЯЯ (локоть ниже запястья) РУКА: Положение запястья {ПРАВОЙ/ЛЕВОЙ} руки по отношению к системе координат плеча характеризуется {положительным/отрицательным} значением координаты по оси y_2 .

КИСТЬ ВНИЗ: Скалярное произведение единичного вектора s системы координат схвата и единичного вектора системы координат положительно.

КИСТЬ ВВЕРХ: Скалярное произведение единичного вектора s системы координат схвата и единичного вектора системы координат отрицательно.

Каждый из трех индикаторов конфигурации звеньев может быть определен следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{РУКА} &= \begin{cases} +1, & \text{для ПРАВОЙ руки} \\ -1, & \text{для ЛЕВОЙ руки} \end{cases} \\ \text{ЛОКОТЬ} &= \begin{cases} +1, & \text{для ВЕРХНЕЙ руки} \\ -1, & \text{для НИЖНЕЙ руки} \end{cases} \\ \text{ЗАПЯСТЬЕ} &= \begin{cases} +1, & \text{если КИСТЬ ВНИЗ} \\ -1, & \text{если КИСТЬ ВВЕРХ} \end{cases} \end{aligned}$$

В дополнение к этим индикаторам существует ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ:

$$\text{ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ} = \begin{cases} +1 - & \text{сменить ориентацию запястья} \\ -1 - & \text{не менять ориентацию запястья} \end{cases}$$

Значения индикаторов и переключателя задаются исследователем до начала решения обратной задачи кинематики.

Машинное моделирование

Для проверки правильности решения обратной задачи кинематики манипулятора, может быть составлена программа для ЭВМ.



Рисунок 7. Блок-схема модели решения обратной задачи кинематики на ЭВМ.

Первоначально в программе задаётся положение манипулятора в пределах допустимых значений присоединенных углов (решение прямой задачи кинематики, формирование матрицы манипулятора).

Значение индикаторов совместно с матрицей является входами в программу решения обратной задачи кинематики, вычисляющую присоединенные углы, которые должны совпасть с присоединенными углами по решению прямой задачи кинематики.

Форма отчетности:

Отчет по проделанной работе.

Отчет выполняется на листах формата А4 и содержит: титульный лист, содержание, основную часть, заключение, список использованной литературы. Титульный лист оформляется стандартным образом с указанием темы практической работы, фамилии, имени, отчества и должности преподавателя проверившего работу, фамилии, имени, отчества и номера группы обучающегося выполнившего работу, а также принадлежности к тому или иному учебному учреждению. Содержание должно включать в себя наименование пунктов

(частей) практической работы с их точной постраничной нумерацией. Основная часть должна содержать результаты проделанной работы обучающегося согласно порядка выполнения практической работы. В заключении подводятся итоги проделанной работы и делаются выводы о полученных результатах обучения. В списке использованной литературы указывается перечень литературы и источников информации, использованных при выполнении практической работы и подготовки обучающегося к ее защите.

Задания для самостоятельной работы:

1. Определить кинематику манипулятора. Задание для самостоятельной работы выдается преподавателем или выбирается обучающимся по желанию.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При выполнении задания и подготовке к практическому занятию рекомендуется просмотреть пройденный материал по теме занятия в учебно-методической литературе для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Основная литература

1. Схиртладзе А.Г., Федотов А.В., Хомченко В.Г., Моисеев В.Б. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко, В.Б. Моисеев. - Пенза: ПензГТУ, 2015. – 442 с.

Дополнительная литература

1. Гончаревич И.Ф., Никулин К.С. Основы робототехники. Механизмы выдвижения и поворота робота-погрузчика с пневмоприводом: методические рекомендации / И.Ф. Гончаревич, К.С. Никулин. - М.: Альтаир-МГАВТ, 2014. – 63 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Предмет кинематики манипулятора?
2. Основная задача кинематики манипулятора?
3. Обратная задача кинематики манипулятора?
4. Виды конфигураций манипулятора?

Практическое занятие №2 Динамика манипулятора промышленного робота

Цель работы: изучить методику определения динамики манипулятора промышленного робота.

Задание:

1. Ознакомится с методикой определения динамики манипулятора;
2. Ознакомится с прямой и обратной задачей динамики манипулятора.

Порядок выполнения:

Предметом динамики манипулятора как раздела робототехники является математическое описание действующих на манипулятор сил и моментов в форме уравнений динамики движения. Также уравнения необходимы для моделирования движения манипулятора с помощью ЭВМ, при выборе законов уравнения и при оценке качества кинематической схемы и конструкции манипулятора.

Задача управления включает задачу формирования динамической модели реального манипулятора и задачу выбора законов или стратегий управления, обеспечивающих выполнение поставленных целей.

Динамическая модель манипулятора может быть построена на основе использования известных законов ньютоновой или лагранжевой механики. Результатом применения этих законов является уравнения, связывающие действующие в сочленениях силы и моменты с кинематическими характеристиками и параметрами движения звеньев.

Таким образом, уравнения динамики движения реального манипулятора могут быть получены методами Лагранжа-Эйлера или Ньютона-Эйлера. Уравнения Лагранжа-Эйлера обеспечивают строгое описание динамики манипулятора. Их можно использовать для решения прямой и обратной задачи динамики.

Прямая задача состоит в том, чтобы по заданным силам и моментам определить обобщённые ускорения, интегрирование которых позволит получить значения обобщённых координат и скоростей.

Обратная задача динамики заключается в том, чтобы по заданным обобщённым координатам, скоростям и ускорениям определить действующие в сочленениях манипулятора силы и моменты.

Для решения обеих задач, как правило, необходимо вычислить динамические коэффициенты. Вычисление этих коэффициентов требует выполнения очень большого числа арифметических операций. В связи с этим уравнения Лагранжа-Эйлера без дополнительных упрощений практически неприменимы для управления манипулятором в реальном времени.

С целью получения более эффективных с вычислительной точки зрения алгоритмов расчёта обобщённых сил и моментов используют уравнения Ньютона-Эйлера, которые просты по содержанию, но весьма трудоёмки. Результатом является система прямых и обратных рекуррентных уравнений, последовательно применяемых к звеньям манипулятора. Это позволяет реализовать простые законы управления манипулятором в реальном времени.

Подвижные системы координат

Подвижные системы координат могут участвовать как во вращательном, так и в поступательном движениях относительно некоторой неподвижной инерциальной системы координат. На рис. 7. изображена подвижная система координат, которая совершает вращательное и поступательное движения относительно инерциальной системы координат. Положение материальной точки, обладающей массой, относительно систем координат и задается векторами. Положение точки O^* в системе координат определяется вектором.

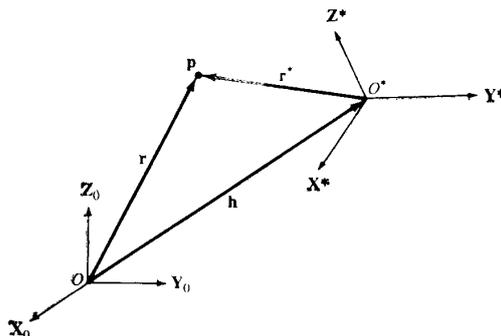


Рисунок 7. Подвижная система координат

Кинематика звеньев

Выведем уравнения, основывающиеся на полученных ранее соотношениях для подвижной системы координат и описывающие кинематику звеньев манипулятора в базовой системе координат.

Рекуррентные уравнения динамики манипулятора

[*Рекуррентный – возвращающийся*]. Рекуррентные уравнения – уравнения приведения, сводящие вычисления n -го члена последовательности к вычислению нескольких предыдущих ее членов.

Основываясь на полученных выше кинематических соотношениях, воспользуемся принципом Д-Аламбера для вывода уравнений динамики движения манипулятора. Принцип Д-Аламбера позволяет применить известные условия статического равновесия к задачам динамики за счет рассмотрения (наряду с внешними действующими на механическую систему силами) сил инерции, препятствующих движению. Принцип Д-Аламбера выполняется для механической системы в любой момент времени. По сути это несколько модифицированный второй закон Ньютона, формулируемый следующим образом:

«Алгебраическая сумма внешних сил и сил инерции, действующих на тело в любом направлении, равна нулю».

Таким образом, для исследователя существует возможность выбора одной из трех следующих форм представления уравнений движения манипулятора:

1. удобная для анализа, но неэффективная в вычислительном плане форма Лагранжа-Эйлера;
2. эффективная с вычислительной точки зрения, но малоприспособленной для анализа форма Ньютона-Эйлера;
3. достаточно удобные для анализа при умеренных вычислительных затратах обобщенные уравнения Д'Аламбера.

Планирование траекторий манипулятора

Планирование траекторий движения манипулятора – это задача выбора закона управления, обеспечивающего движение манипулятора вдоль некоторой заданной траектории. Перед началом движения манипулятора важно знать:

1. существуют ли на его пути какие-либо препятствия;
2. накладываются ли какие-либо ограничения на траекторию схвата.

В зависимости от ответов на эти вопросы выбирается один из четырех типов управления манипулятором.

Таблица. Типы управления манипулятором

| | | Препятствия на пути манипулятора | |
|---|---------------------|---|---|
| | | Присутствуют | Отсутствуют |
| Ограничения на траекторию манипулятора | Присутствуют | I. Автономное планирование траектории, обеспечивающее обход препятствий, плюс регулирование движения вдоль выбранной траектории в процессе работы манипулятора | II. Автономное планирование траектории плюс регулирование движения вдоль выбранной траектории в процессе работы манипулятора |
| | Отсутствуют | III. Позиционное управление плюс обнаружение и обход препятствий в процессе движения | IV. Позиционное управление |

Рассмотрим планирование траектории манипулятора при отсутствии препятствий (II и IV тип). Задача состоит в разработке математического аппарата для выбора и описания желаемого движения манипулятора между начальной и конечной точками траектории.

При планировании траекторий обычно применяется один из двух подходов:

1. Задается точный набор ограничений (например, непрерывность и гладкость) на положение, скорость и ускорение обобщенных координат манипулятора в некоторых (называемых *узловыми*) точках траектории. Планировщик траекторий после этого выбирает из некоторого класса функций (как правило, среди многочленов, степень которых не превышает некоторое заданное n) функцию, проходящую через узловые точки и удовлетворяющую в них заданным ограничениям. Определение ограничений и планирование траектории производится в присоединенных координатах.

2. Задается желаемая траектория манипулятора в виде некоторой аналитически описываемой функции, как, например, прямолинейную траекторию в декартовых координатах. Планировщик производит аппроксимацию заданной траектории в присоединенных или декартовых координатах.

Планирование в присоединенных переменных обладает тремя преимуществами:

1. задается поведение переменных, непосредственно управляемых в процессе движения манипулятора;
2. планирование траектории может осуществляться в реальном времени;
3. траектории в присоединенных переменных легче планировать.
4. Должны быть сведены к минимуму бесполезные движения типа «блуждания».

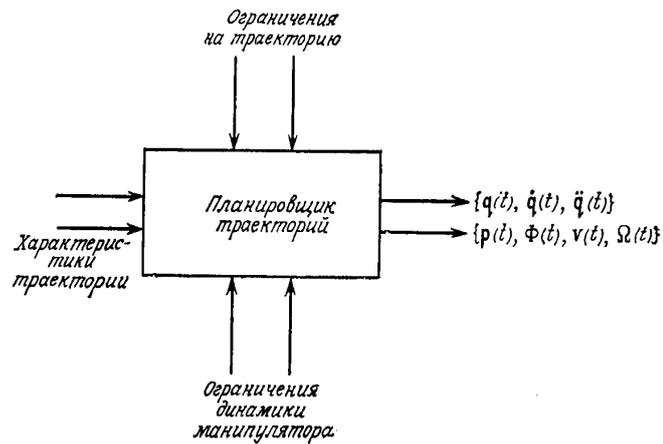


Рисунок 8. Блок-схема планировщика траекторий

Недостаток – сложность определения положения звеньев и схвата в процессе движения. Это необходимо для предотвращения столкновения с препятствием.

На планируемую траекторию накладывается четыре ограничения:

1. Узловые точки должны легко вычисляться нерекуррентным способом.
2. Промежуточные положения должны определяться однозначно.
3. Должна быть обеспечена непрерывность присоединенных координат и их двух первых производных, чтобы планируемая траектория в пространстве присоединенных переменных была гладкой.

Перечисленным ограничениям удовлетворяют траектории, описываемые последовательностями полиномов.

В общем случае планирование траекторий в декартовых координатах состоит из двух последовательных шагов:

1. формирование последовательности узловых точек в декартовом пространстве, расположенных вдоль планируемой траектории схвата;
2. выбор некоторого класса функций, аппроксимирующих участки траектории между узловыми точками в соответствии с некоторым критерием (например, прямые, дуги круга, параболы и т.п.).

Первый подход позволяет обеспечить высокую точность движения вдоль заданной траектории. Однако, при отсутствии датчиков положения схвата в декартовых координатах, для перевода декартовых координат в присоединенные требуется большое количество вычислений, что замедляет время движения манипулятора. Поэтому используется второй подход – декартовы координаты узловых точек преобразуются в соответствующие присоединенные координаты с последующим проведением интерполяции в пространстве присоединенных переменных полиномами низкой степени. Это сокращает вычисления и позволяет учесть ограничения динамики манипулятора. Но точность движения снижается.

Сглаженные траектории в пространстве присоединенных переменных

Планирование сглаженных траекторий в пространстве присоединенных переменных следует проводить с учетом следующих соображений:

1. В момент поднятия объекта манипулирования движение схвата должно быть направлено от объекта;
2. Допустимое движение ухода задается на нормали к поверхности, на которой расположен объект, траектория схвата должна проходить через эту точку.
3. Для участка подхода к заданному конечному положению: схват должен пройти через точку подхода, расположенную на нормали к поверхности, на которую должен быть помещен объект манипулирования.
4. Траектория движения манипулятора должна проходить через четыре заданные точки: начальную точку, точку ухода, точку подхода и конечную точку (рис. 9).
5. На траекторию накладываются условия:
 - начальная точка: заданы скорость и ускорение (обычно нулевые);

- точки ухода: непрерывность положения, скорости и ускорения;
 - точка подхода: непрерывность положения, скорости и ускорения;
 - конечная точка: заданы скорость и ускорение (обычно нулевые).
6. Значения присоединенных координат должны лежать в пределах физических и геометрических ограничений каждого из сочленений манипулятора.
7. При определении времени движения необходимо учесть:
- время прохождения начального и конечного участков траектории выбираются с учетом требуемой скорости подхода и ухода схвата, и представляет собой некоторую константу, зависящую от характеристик силовых приводов сочленений
 - время движения по среднему участку траектории определяется максимальными значениями присоединенных скоростей и ускорений каждого сочленения.

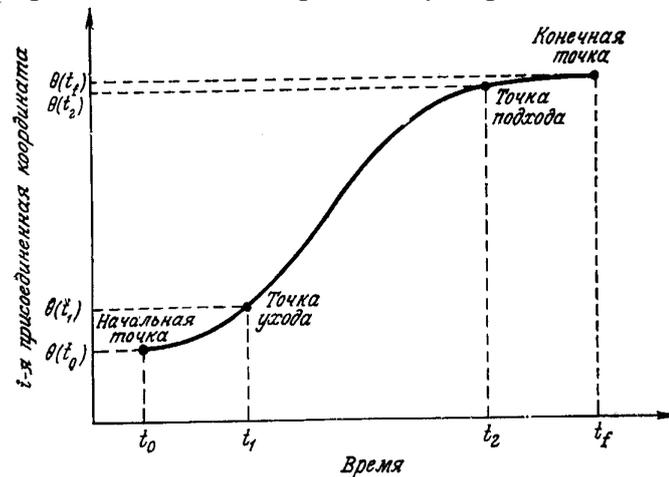


Рисунок 9. Ограничения по положению для траектории в пространстве присоединенных переменных

Управление манипуляторами промышленного робота

Если динамические уравнения движения манипулятора заданы, целью управления манипулятором является выполнение им движений в соответствии с заданным рабочим критерием.

Проблема управления манипулятором в общем случае сводится к следующим шагам: - к получению его динамических моделей; - к определению закона управления им на основе этих моделей для обеспечения требуемых рабочих и динамических характеристик системы.

Движение манипулятора осуществляется в два этапа: - транспортное движение манипулятора в зону действия; - управление (коррекция) движением по сигналам датчиков обратной связи.

Рассматривая управление манипулятором как задачу формирования траектории движения (рис. 10), управление движением можно подразделить на три основных вида:

1. Управление движением сочленений манипулятора. Сервомеханизм звена (схема управления манипулятором робота). Метод вычисления моментов. Оптимальное по быстродействию управление. Управление переменной структурой. Нелинейное независимое управление.

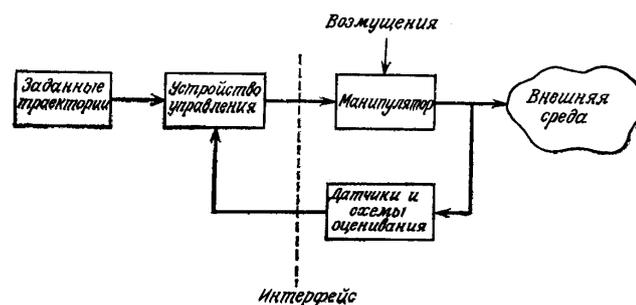


Рисунок 10. Общая блок-схема управления манипулятором робота

2. Программное управление движением в декартовом пространстве по скорости, ускорению и силе.

3. Адаптивное управление.

- Адаптивное управление по заданной модели.
- Самонастраивающееся адаптивное управление.
- Адаптивное управление по возмущению с компенсацией по прямой связи.
- Адаптивное управление программным движением.

Предполагается, что движение вдоль траектории в связанной или декартовой системе координат является функцией времени.

Метод вычисления управляющих моментов

Если движение манипулятора описывается уравнением Лагранжа-Эйлера или Ньютона-Эйлера, задачей управления является нахождение управляющих моментов и сил. Эти моменты и силы должны обеспечивать максимально приближенное к заданной траектории движение конечного звена манипулятора в реальном времени.

Устройство позиционирования для одного сочленения манипулятора

Назначение устройства позиционирования – управление двигателем таким образом, чтобы реальное угловое перемещение сочленения совпадало с желаемым угловым перемещением, определяемым заданной траекторией. Управление основано на выработке сигнала ошибки между заданным и действительным угловыми положениями сочленения для выработки соответствующего управляющего напряжения. Напряжение на двигателе прямо пропорционально ошибке:

Критерии работоспособности и устойчивости

Работа замкнутой системы управления второго порядка основана на критериях:

- обеспечение хорошей динамики;
- небольшая или нулевая статическая ошибка;
- малое время переходных процессов.

Форма отчетности:

Отчет по проделанной работе.

Отчет выполняется на листах формата А4 и содержит: титульный лист, содержание, основную часть, заключение, список использованной литературы. Титульный лист оформляется стандартным образом с указанием темы практической работы, фамилии, имени, отчества и должности преподавателя проверившего работу, фамилии, имени, отчества и номера группы обучающегося выполнившего работу, а также принадлежности к тому или иному учебному учреждению. Содержание должно включать в себя наименование пунктов (частей) практической работы с их точной постраничной нумерацией. Основная часть должна содержать результаты проделанной работы обучающегося согласно порядка выполнения практической работы. В заключении подводятся итоги проделанной работы и делаются выводы о полученных результатах обучения. В списке использованной литературы указывается перечень литературы и источников информации, использованных при выполнении практической работы и подготовки обучающегося к ее защите.

Задания для самостоятельной работы:

1. Определить динамику манипулятора. Задание для самостоятельной работы выдается преподавателем или выбирается обучающимся по желанию.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При выполнении задания и подготовке к практическому занятию рекомендуется просмотреть пройденный материал по теме занятия в учебно-методической литературе для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Основная литература

1. Схиртладзе А.Г., Федотов А.В., Хомченко В.Г., Моисеев В.Б. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко, В.Б. Моисеев. - Пенза: ПензГТУ, 2015. – 442 с.

Дополнительная литература

1. Гончаревич И. Ф. , Никулин К. С. Основы робототехники. Механизмы выдвижения и поворота робота-погрузчика с пневмоприводом: методические рекомендации / И.Ф. Гончаревич, К.С. Никулин. - М.: Альтаир-МГАВТ, 2014. – 63 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Предмет динамики манипулятора?
2. Основная задача динамики манипулятора?
3. Обратная задача динамики манипулятора?
4. Типы управления манипулятором?

Практическое занятие №3 Управление манипулятором промышленного робота

Цель работы: изучить методику определения типа управления манипулятора промышленного робота.

Задание:

1. Ознакомится с типами управления манипулятора промышленного робота;
2. Ознакомится с методикой определения типа управления манипулятора промышленного робота.

Порядок выполнения:

Системы с переменной структурой (СПС) относятся к классу систем с дискретным управлением по обратной связи. Основной особенностью СПС является наличие «скользящего режима» на поверхности переключения. В скользящем режиме система не реагирует на изменение параметров и на возмущающие воздействия, а ее траектории проходят по поверхности переключения. Система управления в этом режиме нечувствительна к изменению параметров.

Адаптивное управление

Большинство методов управления манипулятором робота предназначено для управления конечным звеном манипулятора или сочленениями. В них уделено внимание компенсации нелинейностей от сил взаимодействия между различными сочленениями. Эти управляющие алгоритмы могут быть неадекватными, потому что требуют наличия точной модели динамики манипулятора и не учитывают изменения нагрузки в процессе выполнения манипулятором работы. Такие изменения в объекте управления часто оказываются достаточно значительными и снижают эффективность управления по обратной связи. В результате ухудшается динамика и демпфирование системы, что ограничивает точность и скорость позиционирования конечного звена. Значительное улучшение точности формирования желаемой траектории во времени для широкого диапазона движений манипулятора и для различных нагрузок достигается при использовании адаптивных методов управления.

Адаптивное управление по заданной модели

Наиболее легко реализуется адаптивное управление по заданной модели. Идея этого метода основана на выборе соответствующей заданной модели и алгоритма адаптации, по которым изменяются коэффициенты передач обратных связей на двигатели в реальной системе. Алгоритм адаптации проводится на основе информации об ошибках между выходами заданной модели и выходами реальной системы. Общая блок-схема адаптивного управления системой по заданной модели приведена на рис. 11.

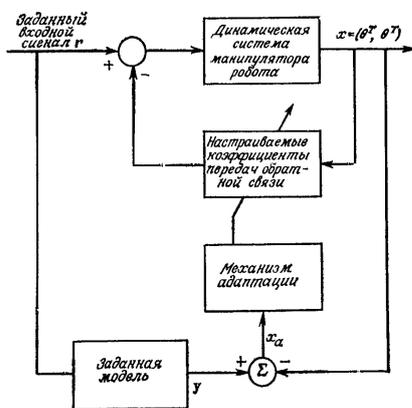


Рисунок 11. Общая блок-схема адаптивного управления системой по заданной модели

В качестве заданной модели для каждой степени свободы манипулятора робота выбирается линейное дифференциальное уравнение второго порядка, не зависящее от времени. Манипулятор управляется путем настройки коэффициентов передачи обратной связи по положению и по скорости при отслеживании модели таким образом, чтобы его рабочие характеристики при замкнутом управлении совпадали с желаемыми рабочими характеристиками заданной модели. В результате такая схема адаптивного управления требует небольшого объема вычислений, которые могут выполняться с помощью недорогих микропроцессоров. Этот алгоритм адаптивного управления не требует ни сложных математических моделей динамической системы, ни предварительного знания внешних воздействий, таких, как величина нагрузки и др. Адаптивная схема, построенная по заданной модели, стабильно функционирует в широком диапазоне движений и нагрузок.

Адаптивное управление с авторегрессивной моделью

Адаптивное самонастраивающееся устройство управления использует авторегрессивную модель для установления соответствия между входными и выходными параметрами манипулятора (рис. 12). Алгоритм управления предполагает, что силы взаимодействия между сочленениями ничтожно малы.

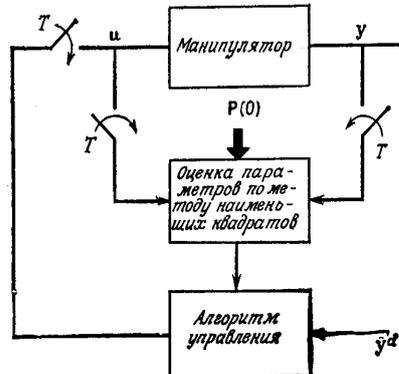


Рисунок 12. Адаптивное управление с авторегрессивной моделью

Адаптивное управление по возмущению

Адаптивное управление по возмущению отличается от других методов управления тем, что в нем учитываются все силы взаимодействия между различными сочленениями. Оптимальное управление базируется на линеаризованных уравнениях движения в окрестности номинальной траектории. Управляемая система характеризуется наличием прямой и обратной связей, которые могут быть рассчитаны отдельно и одновременно.

Прямая связь формирует номинальные моменты для компенсации всех сил взаимодействия между различными сочленениями при движении вдоль заданной траектории с помощью уравнений Ньютона-Эйлера, используемых в обратной задаче динамики манипулятора.

Обратная связь формирует моменты по возмущениям, которые уменьшают ошибки манипулятора по положению и по скорости до нуля вдоль заданной траектории.

При управлении линеаризованной возмущенной системой вдоль заданной траектории используется одношаговый оптимальный закон управления. Для получения необходимого управляющего воздействия параметры и коэффициенты передачи обратной связи пересчитываются и настраиваются в каждый дискретный период времени. Такой метод адаптивного управления позволяет свести задачу управления манипулятором от номинального управления к управлению линейной системой вдоль заданной траектории. В такой постановке задача управления формулируется как нахождение закона управления.

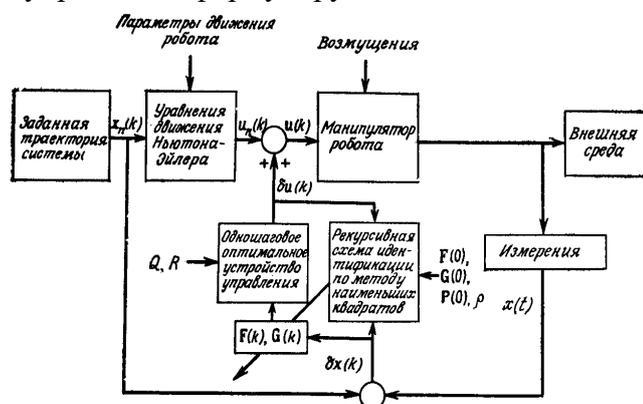


Рисунок 13. Адаптивное управление по возмущению

Независимое адаптивное управление движением

Независимое адаптивное управление движением формирует движение конечного звена и основано на использовании линеаризованной возмущенной системы, описывающей движение конечного звена вдоль заданной временной траектории. Это управление отличается от независимого управления движением по ускорению минимизацией не только ошибок по положению или ориентации, но и ошибок по угловым и линейным скоростям конечного звена манипулятора вдоль координатных осей конечного звена. Характеризуется наличием положительной и отрицательной обратных связей, которые могут определяться одновременно и отдельно.

Прямая связь преобразует определенные значения положений, скоростей и ускорений конечного звена в соответствующие значения этих величин для сочленений, с помощью которых вычисляются номинальные моменты в сочленениях, компенсирующие все силы, взаимодействующие между различными сочленениями.

В обратной связи формируются моменты в сочленениях, компенсирующие возмущения и уменьшающие ошибки конечного звена манипулятора по положению и скорости вдоль его номинальной траектории.

Уравнения движения манипулятора в декартовых координатах могут быть получены с использованием кинематической связи между связанными с сочленениями координатами и декартовыми координатами.

Система независимого адаптивного управления движением также характеризуется наличием прямой (программной), а также положительной и отрицательной обратных связей.

В прямой связи определяются управляющие моменты в сочленениях по следующему алгоритму:

- по опорным точкам траектории конечного звена формируются величины требуемых положений, скоростей и ускорений в сочленениях;
- из уравнений движения Ньютона-Эйлера вычисляются управляющие моменты в сочленениях, организующих траекторию конечного звена - номинальные моменты.

В обратной связи вычисляются моменты в сочленениях, компенсирующие возмущения, в соответствии с уравнением и рекурсивным алгоритмом идентификации по методу наименьших квадратов.

Возможность применения адаптивного устройства управления, реализованного на дискретной частоте 60 Гц, и современных недорогих микропроцессоров можно установить

путем определения времени вычисления при рассмотрении математических операций умножения и сложения. Например, операция управления 6-звенным роботом требует 1386 операций умножения и 988 операций сложения. Обратная связь требует 3348 операций умножения и 3118 операций сложения.

Для независимого адаптивного управления движением манипулятора, учитывая большое количество вычислений, необходима дискретная частота не ниже 55-60 Гц при минимальном быстродействии 16-18 мс.

Рассмотренные способы управления конечным звеном манипулятора обладают своими достоинствами и недостатками. Адаптивное управление по заданной модели реализуется просто, но трудно выбрать соответствующую модель и провести анализ устойчивости управляемой системы. Самонастраивающееся адаптивное управление устанавливает соответствие данных по входу и выходу системы с авторегрессивной моделью. Оба метода не учитывают сил реакции между сочленениями, которые могут быть значительными в манипуляторах с шарнирными сочленениями. Адаптивное управление с использованием теории возмущений более пригодно для различных видов манипуляторов, так как в нем учитываются силы взаимодействия между сочленениями. Метод адаптивного управления по возмущениям удобен для управления манипулятором как в связанных с сочленением, так и в декартовых координатах. Система адаптивного управления по возмущению характеризуется наличием прямой и обратной связей, которые могут определяться параллельно – независимо и одновременно. Вычисление адаптивного управления для шестизвенного манипулятора робота реализуется в случае управления в пространстве переменных сочленения с помощью недорогих микропроцессоров. Для независимого адаптивного управления движением нельзя использовать существующие недорогие микропроцессоры, потому что они не удовлетворяют требованиям к быстродействию вычисления параметров управления.

Форма отчетности:

Отчет по проделанной работе.

Отчет выполняется на листах формата А4 и содержит: титульный лист, содержание, основную часть, заключение, список использованной литературы. Титульный лист оформляется стандартным образом с указанием темы практической работы, фамилии, имени, отчества и должности преподавателя проверившего работу, фамилии, имени, отчества и номера группы обучающегося выполнившего работу, а также принадлежности к тому или иному учебному учреждению. Содержание должно включать в себя наименование пунктов (частей) практической работы с их точной постраничной нумерацией. Основная часть должна содержать результаты проделанной работы обучающегося согласно порядка выполнения практической работы. В заключении подводятся итоги проделанной работы и делаются выводы о полученных результатах обучения. В списке использованной литературы указывается перечень литературы и источников информации, использованных при выполнении практической работы и подготовки обучающегося к ее защите.

Задания для самостоятельной работы:

1. Определить тип управления манипулятором промышленного робота. Задание для самостоятельной работы выдается преподавателем или выбирается обучающимся по желанию.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При выполнении задания и подготовке к практическому занятию рекомендуется просмотреть пройденный материал по теме занятия в учебно-методической литературе для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Основная литература

1. Схиртладзе А.Г., Федотов А.В., Хомченко В.Г., Моисеев В.Б. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко, В.Б. Моисеев. - Пенза: ПензГТУ, 2015. – 442 с.

1. Егоров О. Д. Механика роботов: учебное пособие / М.: Альтаир-МГАВТ, 2007. – 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Типы управления манипулятором?
2. Адаптивное управление по заданной модели?
3. Адаптивное управление с авторегрессионной моделью?
4. Адаптивное управление по возмущению?
5. Независимое адаптивное управление?

Практическое занятие №4 Очувствление промышленного робота

Цель работы: изучить методы очувствления промышленных роботов.

Задание:

1. Ознакомится с методами очувствления промышленных роботов;
2. Ознакомится с датчиками, применяемыми для очувствления промышленных роботов.

Порядок выполнения:

Очувствление необходимо для взаимодействия робота с внешней средой в интерактивном режиме. Очувствленные обучаемые системы обладают возможностью адаптации при выполнении широкого круга задач. Благодаря этому повышается степень универсальности, что, в конечном счете, приводит к снижению стоимости продукции и технического обслуживания.

Функционально органы очувствления роботов – датчики – можно подразделить на два основных типа:

- датчики внутреннего состояния;
- датчики внешнего состояния.

Датчики внутреннего состояния служат для формирования сигналов в цепях обратных связей по положению и скорости звеньев манипулятора, по силе и моменту.

Датчики внешнего состояния предназначены для измерения параметров в дальней и ближней зонах и для тактильных измерений. Подразделяются на контактные и бесконтактные. Контактные датчики производят измерение при контакте с объектом в процессе касания, проскальзывания или кручения. Принцип действия бесконтактных датчиков основан на определении изменений акустического или электромагнитного полей взаимодействия с объектом.

Наиболее важными примерами использования бесконтактных датчиков является измерение положения объекта в дальних и ближних зонах, а также определение характеристик объекта оптическим методом.

Датчики измерения в дальней зоне

Назначение – определение расстояния от точки отсчета до объекта в рабочем диапазоне измерений. Датчики измерения в дальней зоне используются для навигации робота и обхода препятствий, когда требуется оценить расстояние до ближайших объектов или определить местоположение и форму объектов в рабочем пространстве робота.

Триангуляция

Одним из простейших методов измерения в дальней зоне является метод триангуляции. Объект освещают узким пучком света, направленным на его поверхность.

Движение пучка света в плоскости определяется линией от объекта до приемника света и линией от приемника до источника света. Если пятно света на поверхности объекта достаточно мало, расстояние D до освещенного участка поверхности может быть вычислено из геометрических соотношений. Этот метод реализует точечное измерение. Если система «источник-приемник» движется в фиксированной плоскости, то в этом случае можно

получить группу точек, расстояния которых до приемника известны. Эти расстояния легко перенести в трехмерную систему координат путем сканирования.

Метод подсветки

Данный метод состоит в проецировании светового потока на группу объектов и использовании изменения формы потока для вычисления расстояния.

Световая полоса, пересекающая группу предметов, формируется в виде плоского пучка света с помощью цилиндрических линз. Пересечение светового потока с объектами в рабочем пространстве фиксируется телевизионной камерой, помещенной на расстоянии от источника света. Такая ситуация легко анализируется компьютером при определении расстояния. Например, отклонение пучков света указывает на изменение поверхности, а разрыв соответствует промежутку между поверхностями.

Измерение расстояния по времени прохождения сигнала

Рассмотрим три метода измерения расстояния, основанные на определении времени прохождения сигнала между объектом и приемником. Два из них – лазерные, один – ультразвуковой.

Первый метод – измеряется время, в течение которого посланный вдоль оси световой импульс возвращается вдоль той же оси от отражающей поверхности. Расстояние до объекта

определяется по формуле $D = cT/2$, где T – время прохождения сигнала и c – скорость света (0,3 м/нс). Частота отсчета должна быть 50 Гц для достижения точности измерения порядка $\pm 6,3$ мм.

Лазерные измерители дают двухмерный массив со значениями, пропорциональными расстоянию. Двухмерное сканирование выполняется путем отклонения лазерного луча вращающимся зеркалом. Рабочая зона этого устройства находится в пределах 1-4 метра, точность $\pm 2,5$ мм.

Во втором случае вместо импульсного светового сигнала используется непрерывный луч лазера и измеряется задержка (т.е. фазовый сдвиг) между посылаемыми и возвращенными лучами.

Луч лазера с длиной волны λ расщеплен на два луча. Один из них (опорный «луч отсчета») проходит расстояние L к фазометру, а другой проходит расстояние D до отражающей поверхности. Общее расстояние, пройденное отраженным лучом, составляет $D' = L + 2D$. Фазовый сдвиг между двумя лучами в точке измерения возникает в случае, если отраженный луч проходит путь больший, чем исходящий.

Наиболее приемлемым решением является амплитудное модулирование лазерного луча волной с гораздо большей длиной, например, 30 метров ($f=10$ МГц). Основная процедура остается прежней, но сигнал отсчета является теперь функцией модулирования. Модулированный лазерный сигнал посылается на объект, а возвращенный сигнал демодулируется и сравнивается с отсчетным сигналом для определения фазового сдвига.

Третьим методом измерения является ультразвуковой метод, реализующим идею измерения расстояния по времени прохождения сигнала.

Ультразвуковой сигнал передается за короткий промежуток времени и, так как скорость звука известна для определенной среды, простое вычисление, включающее интервал времени между посылаемым и отраженным сигналами, дает оценку расстояния до отражающей поверхности.

Например, в ультразвуковой измерительной системе, выпускаемой фирмой Polaroid, сигнал длительностью 1 мс, состоящий из 56 импульсов четырех частот (50, 53, 57, 60 кГц), передается датчиком диаметром ~38 мм. Сигнал, отраженный объектом, улавливается тем же датчиком и, проходя через усилитель и схему индикации, способен измерять расстояние в диапазоне ~0,3-10 м с точностью до 2,5 см. Смешанные частоты сигнала используются для улучшения устойчивости сигнала. Отклонение в направленности этого прибора составляет ~30°. Ультразвуковые датчики применяются в робототехнике преимущественно в навигации и для обхода препятствий.

Ощущение в ближней зоне

Датчики измерения в дальней зоне дают оценку расстояния между датчиком и отражающим объектом. Датчики измерения в ближней зоне обычно имеют дискретный пороговый сигнал, который определяет наличие объекта в пределах установленного пространства, например, при захвате объекта или при его обходе.

Существует несколько методов очувствления в ближней зоне.

Индуктивные датчики

Индуктивные датчики – датчики, основанные на изменении индуктивности при взаимодействии с металлическим объектом, наиболее широко используются в промышленных роботах. При отсутствии движения силовые линии не изменяются и, следовательно, в катушке ток не индуцируется. Изменение напряжения на выходе катушки обеспечивает эффективное очувствление в ближней зоне на расстояниях ~1 мм. Так как для получения выходного сигнала на датчике требуется наличие относительного движения датчика и объекта, одним из методов получения дискретного порогового сигнала является интегрирование выходного сигнала.

Пороговый сигнал остается на нижнем уровне, пока значение интеграла остается ниже установленного порога. После превышения порога сигнал переходит на верхний уровень, что соответствует наличию объекта в зоне измерения.

Емкостные датчики

Емкостные датчики обладают способностью обнаруживать все твердые и жидкие материалы. Как видно из названия, эти датчики основаны на изменении емкости, которая зависит от расстояния до поверхности объекта в зоне действия чувствительного элемента.

Существует ряд методов обнаружения в ближней зоне, основанный на изменении емкости:

- конденсатор представляет собой элемент колебательного контура, колебания в котором возникают только в том случае, если емкость датчика превышает заданное пороговое значение. Колебания преобразуются затем в выходное напряжение, которое указывает на присутствие объекта в зоне измерения. Этот метод обеспечивает дискретный выходной сигнал, переключение которого зависит от значения заданного порога;

- емкостной элемент в контуре, по которому постоянно проходит синусоидальный сигнал частоты. Изменение емкости вызывает фазовый сдвиг между сигналом эталонной частоты и сигналом от емкостного элемента. Фазовый сдвиг пропорционален изменению емкости и следовательно, может быть использован для обнаружения объекта в ближней зоне.

Форма характеристики зависит от материала объекта измерения. Обычно такие датчики работают в дискретном пороговом режиме. Изменение емкости выше заданного порога соответствует наличию объекта, а ниже – его отсутствию в зоне, установленной величиной.

Ультразвуковые датчики

Характеристики всех рассмотренных датчиков измерения в ближней зоне сильно зависят от материала объектов измерения. Эта зависимость может быть в значительной степени уменьшена путем использования ультразвуковых датчиков.

Основным элементом датчика является электроакустический преобразователь, в качестве которого часто используется пьезоэлектрический керамический элемент. Подложка из смолы защищает преобразователь от влажности, пыли и других внешних воздействий. Она служит также как переходное акустическое сопротивление. Поскольку один и тот же преобразователь используется обычно как для передачи, так и для приема сигналов, для обнаружения объектов в ближней зоне необходимо быстрое демпфирование акустической энергии. Это достигается путем применения акустических поглотителей и развязкой преобразователя от корпуса. Конструкция корпуса позволяет получить узкий акустический поток, дающий мощный направленный сигнал.

Для лучшего понимания работы ультразвукового датчика измерителя в ближней зоне надо провести анализ сигналов, используемых как для передачи, так и для приема акустической энергии

Оптические датчики измерения в ближней зоне

Оптические датчики измерения в ближней зоне подобны ультразвуковым датчикам в том смысле, что они определяют близость объекта по его влиянию на волновой сигнал,

проходящий от источника к приемнику. Один из наиболее распространенных методов измерения расстояния в ближней зоне с помощью оптических средств.

Датчик состоит из светодиода, который выполняет роль источника инфракрасного излучения, и фотодиода, используемого в качестве приемника. Пучки света, сформированные оптическими системами источника и приемника в одной плоскости, пересекаются в вытянутой конусовидной зоне. Эта зона определяет рабочий диапазон датчика, так как отражающая поверхность, которая находится в зоне, освещается источником и одновременно «просматривается» приемником.

Хотя данный метод в принципе похож на метод триангуляции, имеются и различия. Зона измерений обеспечивает не только точечное измерение. Поверхность, находящаяся в любом месте указанной зоны, будет идентифицирована. Для объекта с известной ориентацией и характеристиками отражения можно осуществить калибровку интенсивности изображения в функции расстояния, однако обычно систему, используют в режиме, при котором формируется дискретный выходной сигнал при достижении интенсивности отраженного светового потока определенного порогового значения.

Тактильные датчики

Тактильные датчики используются в робототехнике для получения информации о контакте манипулятора с объектами в рабочем пространстве. Тактильная информация может использоваться, например, для определения местоположения объекта или его распознавания, а также для управления усилием захватного устройства, воздействующего на объект манипулирования.

Тактильные датчики подразделяются на два основных типа: **дискретные** и **аналоговые**. Дискретные датчики, как правило, срабатывают при наличии или отсутствии объекта, в то время как выходной сигнал аналоговых датчиков пропорционален прикладываемому усилию.

Дискретные пороговые датчики

Дискретные пороговые датчики являются контактными приборами типа микропереключателей. В простейшем случае переключатель размещен на внутренней поверхности каждого пальца манипулятора.

Этот вариант осязания используется для определения наличия детали между пальцами схвата. Перемещая, манипулятор над объектом и последовательно производя контактирование с его поверхностью, можно также осуществить центрирование манипулятора относительно объекта для его схвата и переноса.

Путем размещения нескольких дискретных тактильных датчиков на внутренней поверхности каждого пальца схвата достигается расширение получаемого объема информации. Кроме того, они часто ставятся на внешней поверхности конечного звена манипулятора для получения управляющих сигналов, используемых при формировании траектории движения манипулятора в рабочем пространстве («ощупывание»).

Аналоговые датчики

Аналоговый тактильный датчик является регистрирующим прибором, выходной сигнал которого пропорционален прикладываемой силе. Простейший из таких приборов состоит из подпружиненного стержня, который механически связан с вращающейся осью.

Горизонтальная сила, действующая на стержень, преобразуется в пропорциональный поворот оси. Этот поворот непрерывно измеряется с помощью потенциометра или кодовым устройством с дискретным выходом. При известной жесткости пружины сила соответствует указанному перемещению.

Для увеличения объема информации о процессе взаимодействия робота с объектом на схвате робота размещают матрицы тактильных датчиков, параметры которых меняются в зависимости от давления («графитовые столбики»)

В таких устройствах, обычно называемых «искусственной кожей», давление от объекта вызывает соответствующие деформации, которые измеряются как непрерывно меняющееся сопротивление. Изменение сопротивления легко преобразуется в электрический сигнал, амплитуда которого пропорциональна силе, действующей на соответствующую точку поверхности матрицы.

Рассмотренные тактильные датчики измеряют силы, перпендикулярные к чувствительной поверхности датчика. Определение проскальзывания путем измерения тангенциального движения является другой важной задачей тактильного очувствления. Датчик для определения проскальзывания включает свободно вращающийся зубчатый шар, который отклоняет тонкий стержень, установленный на оси проводящего диска. Под диском равномерно расположены электрические контакты. Вращение шара, вызванное проскальзыванием по нему объекта, приводит к вибрации стержня и диска с частотой, пропорциональной скорости вращения шара. От направления вращения зависит, какой контакт будет задействован вибрирующим диском. Усредненное направление проскальзывания определяется по импульсам в соответствующих выходных электрических контурах.

Силомоментное очувствление

Силомоментные датчики используются в основном для определения сил реакции, возникающих при механической сборке. Основные методы в этой области направлены на очувствление сочленений и схвата робота.

Датчик сочленения измеряет в декартовых координатах силы и моменты, которые действуют на робот, и производит их векторное сложение. Для сочленения, перемещаемого с помощью двигателя постоянного тока, очувствление производится простым измерением тока якоря.

Датчики схвата размещаются между конечным звеном манипулятора и схватом. Они состоят из измерителей напряжений, которые определяют отклонение механической системы под действием внешних сил.

Элементы датчика схвата, встроенного в запястье

Датчики представляют собой небольшие, чувствительные, легкие (~370 грамм) и относительно компактные конструкции диаметром 10 см и толщиной 3 см с динамическим диапазоном до 90 кг. Для уменьшения гистерезиса и увеличения точности измерения датчик обычно выполняют из одной твердой металлической заготовки (как правило, алюминиевой).

Требования к датчикам:

1. **Высокая жесткость.** Частота собственных колебаний механического устройства связана с его жесткостью, следовательно, высокая жесткость обеспечивает быстрое демпфирование возникающих колебаний при измерении сил и точность показаний на коротких временных интервалах. Это снижает величину отклонений от действия сил и моментов, которая может привести к ошибке позиционирования манипулятора.

2. **Компактность конструкции.** Это позволяет облегчить движение манипулятора в условиях навала деталей, а также уменьшить вероятность столкновения датчика с объектами, находящимися в рабочем пространстве. Компактный датчик можно размещать ближе к расположенному в схвате технологическому оборудованию, благодаря чему уменьшается ошибка позиционирования оборудования из-за неадекватности рабочих условий оборудования и датчика. Желательно расширить диапазон измерения сил и моментов. Этому способствует минимизация расстояния между манипулятором и датчиком, приводящая к уменьшению величины рычага прикладываемых к манипулятору сил.

3. **Линейность.** Хорошая линейность выхода чувствительных элементов от прикладываемых сил и моментов позволяет выделить силы и моменты с помощью простых матричных операций. Упрощается процесс калибровки датчика силы.

4. **Малые величины гистерезиса и внутреннего трения.** Внутреннее трение уменьшает чувствительность измерительных элементов. Это также уменьшает гистерезисные эффекты при возвращении измерительного прибора в исходное положение.

Форма отчетности:

Отчет по проделанной работе.

Отчет выполняется на листах формата А4 и содержит: титульный лист, содержание, основную часть, заключение, список использованной литературы. Титульный лист оформляется стандартным образом с указанием темы практической работы, фамилии, имени, отчества и должности преподавателя проверившего работу, фамилии, имени, отчества и номера группы обучающегося выполнившего работу, а также принадлежности к тому или

иному учебному учреждению. Содержание должно включать в себя наименование пунктов (частей) практической работы с их точной постраничной нумерацией. Основная часть должна содержать результаты проделанной работы обучающегося согласно порядка выполнения практической работы. В заключении подводятся итоги проделанной работы и делаются выводы о полученных результатах обучения. В списке использованной литературы указывается перечень литературы и источников информации, использованных при выполнении практической работы и подготовки обучающегося к ее защите.

Задания для самостоятельной работы:

1. Определить метод оцувствления промышленного робота. Задание для самостоятельной работы выдается преподавателем или выбирается обучающимся по желанию.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При выполнении задания и подготовке к практическому занятию рекомендуется просмотреть пройденный материал по теме занятия в учебно-методической литературе для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Основная литература

1. Схиртладзе А.Г., Федотов А.В., Хомченко В.Г, Моисеев В.Б. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко, В.Б. Моисеев. - Пенза: ПензГТУ, 2015. – 442 с.

Дополнительная литература

1. Егоров О. Д. Механика роботов: учебное пособие / М.: Альтаир-МГАВТ, 2007. – 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Оцувствление промышленного робота?
2. Оцувствление в ближней зоне?
3. Оцувствление в дальней зоне?

Практическое занятие №5 Система технического зрения промышленного робота

Цель работы: изучить систему технического зрения промышленного робота.

Задание:

1. Ознакомится с уровнями технического зрения промышленного робота;
2. Ознакомится со структурой технического зрения промышленного робота.

Порядок выполнения:

Техническое зрение играет решающую роль в информационном обеспечении робота. Зрение робота можно определить как процесс выделения, идентификации и преобразования информации, полученной из трехмерных изображений. Этот процесс, называемый *техническим* или *машинным зрением*, делится на 6 основных этапов: 1) снятие информации; 2) предварительная обработка информации; 3) сегментация; 4) описание; 5) распознавание; 6) интерпретация.

Снятие информации – процесс получения визуального изображения.

Предварительная обработка информации заключается в использовании таких методов, как понижение шума или улучшение изображения отдельных деталей.

Сегментация – процесс выделения на изображении интересующих объектов.

Описание – определение главных параметров (размер, форма).

Распознавание – процесс идентификации объектов (например, гаечного ключа, болта, шайбы и т.п.).

Интерпретация – выявление принадлежности к группе распознаваемых объектов.

Выделяют три уровня технического зрения: *низкий, средний, высокий*.

Низкий уровень – процесс, являющийся простым с точки зрения осуществления автоматических действий, не требующий наличия искусственного интеллекта. К низкому уровню технического зрения относится снятие и предварительная обработка информации. Этот уровень охватывает процессы, начиная непосредственно от формирования изображения и кончая процессами компенсации (уменьшение шума, выделение простейших параметров изображения, например, разрыва интенсивности).

Средний уровень содержит процессы выделения, идентификации и разметки элементов изображения, полученного на нижнем уровне. К ним относится сегментация, описание и распознавание отдельных объектов.

Высокий уровень содержит процессы, относящиеся к искусственному интеллекту. В то время, как алгоритмы, используемые на нижнем и среднем уровнях технического зрения, разработаны достаточно хорошо, знания о процессах высокого уровня еще недостаточны. Это приводит к введению ограничений и предположений для уменьшения сложности задач.

Техническое зрение отражает трехмерное пространство, используя его плоское изображение. Объемную информацию получают с помощью специальных методов: метода структурного освещения и метода стереоизображения.

Получение изображения

Визуальная информация преобразуется в электрические сигналы с помощью видеодатчиков. После пространственной дискретизации и квантования по амплитуде эти сигналы дают цифровое изображение. Рассмотрим основные методы получения изображения при использовании технического зрения в роботах, влияние дискретизации на пространственное разделение и влияние квантования по амплитуде на разделение по интенсивности.

Основными устройствами, используемыми в техническом зрении роботов, являются телевизионные камеры на основе видеоконвекторов или твердотельными приборами с зарядовой связью (ПЗС).

Видикон представляет собой цилиндрическую трубку, содержащую с одного конца электронную пушку, а с другого – экран и мишень. Электронный луч фокусируется и отклоняется с помощью напряжения, прикладываемого к катушкам. Отклоняющий контур обеспечивает сканирование луча по внутренней поверхности мишени для «считывания» изображения. Внутренняя поверхность стеклянного экрана покрыта прозрачной металлической пленкой, которая образует электрод, формирующий электрический видеосигнал. На металлическую пленку нанесен тонкий фоточувствительный слой мишени, состоящий из мелких шаровидных частиц, сопротивление которых обратно пропорционально интенсивности светового потока. За фоточувствительной мишенью расположена положительно заряженная тонкая проволочная решетка, которая тормозит электроны, испускаемые пушкой, так что они попадают на мишень со скоростью, близкой к нулю.

В нормальном режиме на металлическое покрытие экрана подается положительный потенциал. При отсутствии света фоточувствительный материал ведет себя как диэлектрик, так как потенциал на внутренней поверхности мишени, вызываемый электронным лучом, компенсируется положительным зарядом на металлическом покрытии. Когда на поверхностный слой мишени попадает свет, его сопротивление падает и появляется электрический ток, нейтрализующий положительный заряд. Величина тока пропорциональна числу перемещающихся электронов и, следовательно, интенсивности светового потока. Это изменение тока после его обработки в электронном блоке формирует видеосигнал.

Частота сканирования, принятая в системах технического зрения, 30 раз в секунду. Полный объем сканирования (кадр) состоит из 525 линий, 480 из которых содержат информацию об изображении. Для повышения четкости изображения сканируют полукадры (262,5 линии) с удвоенной скоростью (60 раз в секунду).

Устройства ПЗС подразделяются на два типа:

- датчики линейного сканирования;
- датчики с плоскостной структурой.

Основной частью ПЗС-датчиков является ряд кремниевых чувствительных элементов, называемых фотоячейками. Фотоны от отображаемого объекта проходят через входную прозрачную поликристаллическую кремниевую структуру и поглощаются в кристаллах кремния, образуя пары «электрон-дырка». Полученные фотоэлектроны собираются на фотоячейках, при этом величина заряда на каждой фотоячейке пропорциональна соответствующей интенсивности светового потока. Типичный датчик линейного сканирования состоит из ряда фоточувствительных элементов, из двух шин, используемых для передачи содержимого с фоточувствительных элементов в транспортные регистры, а также из выходной шины, служащей для передачи содержимого из транспортных регистров на усилитель. На выходе усилителя формируется сигнал напряжения, величина которого пропорциональна содержимому фотоячеек.

ПЗС-датчики с плоскостной структурой аналогичны датчикам линейного сканирования с тем отличием, что в них фотоячейки расположены в форме матрицы, а между рядами фотоячеек имеется комбинация переходных транспортных регистров.

Датчики линейного сканирования имеют от 256 до 2048 фотоэлементов. Датчики с плоскостной структурой имеют от 32×32 до 1024×1024 элемента и больше.

Системы технического зрения высокого уровня

Системы технического зрения можно отнести к классу «интеллектуальных» машин, если они обладают следующими признаками «интеллектуального поведения»:

- 1) возможностью выделения существенной информации из множества независимых признаков;
- 2) способностью к обучению на примерах и обобщению этих знаний с целью их применения в новых ситуациях;
- 3) возможностью восстановления событий по неполной информации;
- 4) способностью определять цели и формулировать планы для достижения этих целей.

В основе технического зрения лежит аналитическая формализация, направленная на решение конкретных задач, связанных с задачами сегментации, описания и распознавания отдельных объектов.

Форма отчетности:

Отчет по проделанной работе.

Отчет выполняется на листах формата А4 и содержит: титульный лист, содержание, основную часть, заключение, список использованной литературы. Титульный лист оформляется стандартным образом с указанием темы практической работы, фамилии, имени, отчества и должности преподавателя проверившего работу, фамилии, имени, отчества и номера группы обучающегося выполнившего работу, а также принадлежности к тому или иному учебному учреждению. Содержание должно включать в себя наименование пунктов (частей) практической работы с их точной постраничной нумерацией. Основная часть должна содержать результаты проделанной работы обучающегося согласно порядка выполнения практической работы. В заключении подводятся итоги проделанной работы и делаются выводы о полученных результатах обучения. В списке использованной литературы указывается перечень литературы и источников информации, использованных при выполнении практической работы и подготовки обучающегося к ее защите.

Задания для самостоятельной работы:

1. Определить уровень и структуру технического зрения промышленного робота. Задание для самостоятельной работы выдается преподавателем или выбирается обучающимся по желанию.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При выполнении задания и подготовке к практическому занятию рекомендуется просмотреть пройденный материал по теме занятия в учебно-методической литературе для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Основная литература

1. Схиртладзе А.Г., Федотов А.В., Хомченко В.Г., Моисеев В.Б. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко, В.Б. Моисеев. - Пенза: ПензГТУ, 2015. – 442 с.

Дополнительная литература

1. Егоров О. Д. Механика роботов: учебное пособие / М.: Альтаир-МГАВТ, 2007. – 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Уровни системы технического зрения?
2. Структура технического зрения?
3. Получение изображения промышленным роботом?

Практическое занятие №6 Расчет траектории перемещения промышленного робота.

Цель работы: изучить методику определения величины перемещений манипулятора промышленного робота при переходе из одной позиции обслуживания в другую.

Задание:

1. Ознакомится с методикой определения величины перемещений манипулятора.

Порядок выполнения:

Положение объекта в пространстве обычно определяется системой декартовых координат (рис. 1).

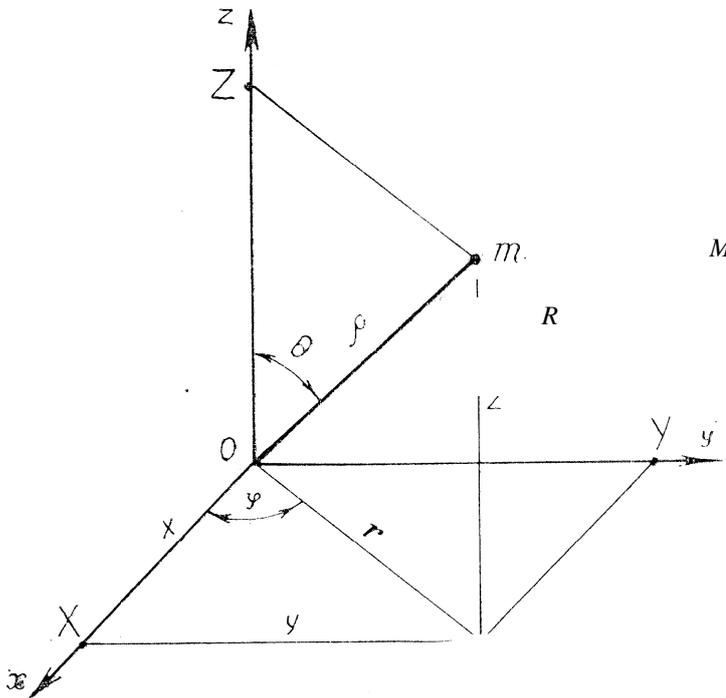


Рис. 1. Система координат

Манипуляторы, работающие в *прямоугольной системе координат*, имеют рабочую зону в форме параллелепипеда. Здесь все перемещения только поступательные. Такая система координат максимально упрощает программирование робота, так как исходное $x_{M_1}, y_{M_1}, z_{M_1}$ и конечное положения $x_{M_2}, y_{M_2}, z_{M_2}$ обычно задаются именно в прямоугольной системе координат, и, следовательно, в этом случае не требуется пересчета программ из одной системы координат в другую.

$$\Delta x = x_{M_2} - x_{M_1},$$

$$\Delta y = y_{M_2} - y_{M_1},$$

$$\Delta z = z_{M_2} - z_{M_1}.$$

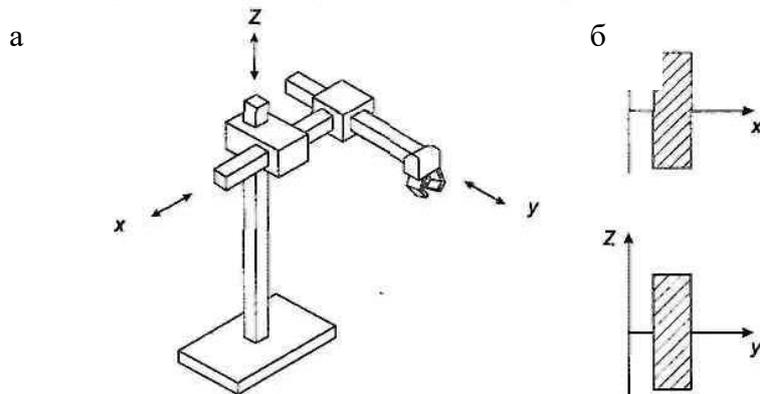


Рис. 2. Манипулятор с декартовой системой координат и его рабочая зона

В манипуляторах, работающих в цилиндрической системе координат (см. рис. 3), наряду с поступательными перемещениями, осуществляется одно угловое перемещение (по окружности). Соответственно рабочая зона ограничена цилиндрическими поверхностями.

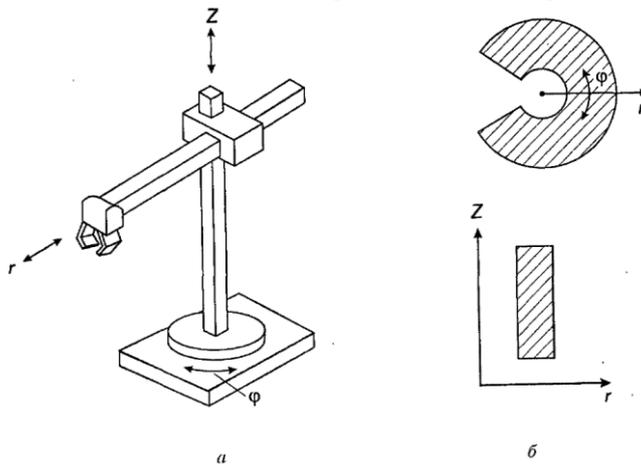


Рис. 3. Манипулятор с цилиндрической системой координат (а) и его рабочая зона (б)

Для программирования перемещений требуется перерасчет из декартовой x_M, y_M, z_M в цилиндрическую систему координат r_M, φ_M, z_M ;

$$r_M = \sqrt{x_M^2 + y_M^2}, \quad \varphi_M = \arctg \frac{y_M}{x_M}.$$

Тогда величина перемещений звеньев манипулятора будет

$$\Delta r = r_{M_2} - r_{M_1},$$

$$\Delta \varphi = \varphi_{M_2} - \varphi_{M_1},$$

$$\Delta z = z_{M_2} - z_{M_1}.$$

В сферической системе координат осуществляются уже 2 угловых перемещения, и рабочая зона ограничена сферическими поверхностями. Такую систему координат имеет, например, манипулятор промышленного робота, показанного на рис. 4. Манипуляторы с такой системой координат, как правило, сложнее, чем с цилиндрической системой, однако компактнее.

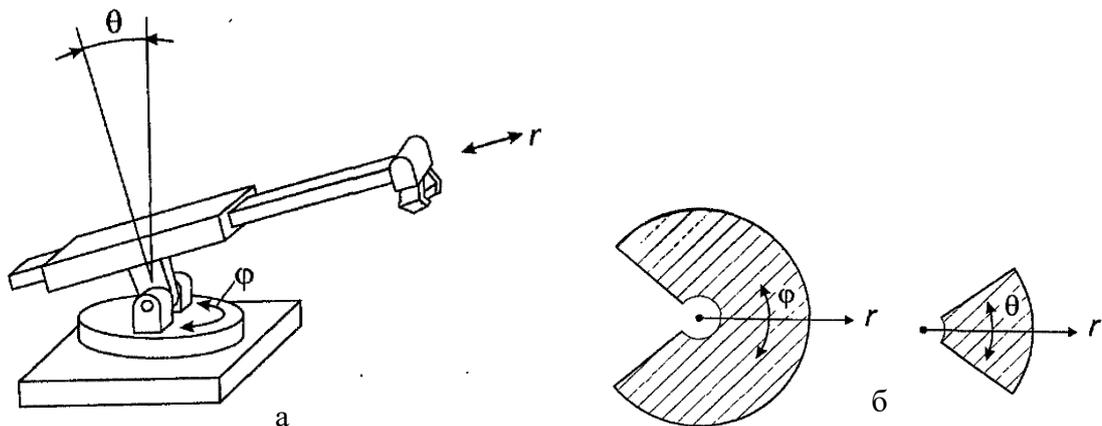


Рис. 4. Манипулятор с сферической системой координат (а) и его рабочая зона (б)

Как и для предыдущей системы координат, для программирования перемещений требуется перерасчет из декартовой x_M, y_M, z_M в сферическую систему координат R_M, φ_M, θ_M ;

$$R_M = \sqrt{x_M^2 + y_M^2 + z_M^2}, \quad \varphi_M = \arctg \frac{y_M}{x_M}, \quad \theta_M = \arccos \frac{z_M}{R_M}$$

Тогда величина перемещений звеньев манипулятора будет

$$\Delta R = R_{M_2} - R_{M_1},$$

$$\Delta \varphi = \varphi_{M_2} - \varphi_{M_1},$$

$$\Delta \theta = \theta_{M_2} - \theta_{M_1}.$$

Количество дискрет при перемещении из одной точки в другую определяется отношением величины перемещений к цене дискреты. Так, например, для декартовой системы координат формулы примут следующий вид:

$$n_{\tilde{o}} = \frac{\tilde{o}}{d_x}, \quad n_y = \frac{y}{d_y}, \quad n_z = \frac{z}{d_z}$$

Тип промышленного робота, начальное и конечное положения точек позиционирования и дискретность перемещений по степеням свободы задаются преподавателем индивидуально или студент получает данные на учебном сайте СЗТУ.

Задание на практическую работу

| Вариант | X1, мм | Y1, мм | Z1, мм | X2, мм | Y2, мм | Z2, мм |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 400 | 0 | 500 | 700 | 800 | 800 |
| 1 | 500 | -200 | 600 | 800 | 600 | 900 |
| 2 | 200 | -300 | 600 | 600 | 500 | 750 |
| 3 | 800 | 700 | 450 | 800 | 600 | 800 |
| 4 | 300 | 400 | 700 | 600 | -200 | 900 |
| 5 | 900 | -500 | 500 | 800 | -500 | 750 |
| 6 | 800 | 500 | 700 | 600 | 400 | 800 |
| 7 | 400 | 100 | 500 | 500 | 800 | 1000 |
| 8 | 500 | -400 | 700 | 200 | 700 | 900 |
| 9 | 500 | 500 | 500 | 500 | 0 | 800 |

$$d_x = 1 \text{ м}, d_y = 1 \text{ м}, d_z = 1 \text{ м}, d_\varphi = 1^\circ, d_\theta = 1^\circ$$

Студенты, обучающиеся с применением элементов ДОТ, выполняют задания практических занятий на учебном сайте СЗТУ.

1. Получить у преподавателя исходные данные.
2. На координатной плоскости нанести начальное и конечное положение точек позиционирования.
3. Изобразить траекторию перемещения.
4. Рассчитать координаты точки в заданной системе координат.
5. Определить величину перемещений.

Форма отчетности:

Отчет по проделанной работе.

Отчет выполняется на листах формата А4 и содержит: титульный лист, содержание, основную часть, заключение, список использованной литературы. Титульный лист оформляется стандартным образом с указанием темы практической работы, фамилии, имени, отчества и должности преподавателя проверившего работу, фамилии, имени, отчества и номера группы обучающегося выполнившего работу, а также принадлежности к тому или иному учебному учреждению. Содержание должно включать в себя наименование пунктов (частей) практической работы с их точной постраничной нумерацией. Основная часть должна содержать результаты проделанной работы обучающегося согласно порядка выполнения практической работы. В заключении подводятся итоги проделанной работы и делаются выводы о полученных результатах обучения. В списке использованной литературы указывается перечень литературы и источников информации, использованных при выполнении практической работы и подготовки обучающегося к ее защите.

Задания для самостоятельной работы:

1. Определить величину перемещений манипулятора промышленного робота. Задание для самостоятельной работы выдается преподавателем или выбирается обучающимся по желанию.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При выполнении задания и подготовке к практическому занятию рекомендуется просмотреть пройденный материал по теме занятия в учебно-методической литературе для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Основная литература

1. Схиртладзе А.Г., Федотов А.В., Хомченко В.Г., Моисеев В.Б. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко, В.Б. Моисеев. - Пенза: ПензГТУ, 2015. – 442 с.

Дополнительная литература

1. Егоров О. Д. Механика роботов: учебное пособие / М.: Альтаир-МГАВТ, 2007. – 224 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Методика расчета величин перемещения манипулятора?
2. Манипулятор с декартовой системой координат?
3. Манипулятор с цилиндрической системой координат?
4. Манипулятор со сферической системой координат?

9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы

Выполнение обучающимся контрольной работы осуществляется в процессе изучения дисциплины «Роботы и манипуляторы в лесном комплексе». В процессе выполнения

обучающийся закрепляет теоретические знания и приобретает навыки самостоятельной работы с технической литературой.

В ходе контрольной работы обучающимся анализирует кинематические схемы управления промышленными роботами, далее определяет систему очувствления выбранной кинематической схемы промышленного робота, а после определяет систему технического зрения промышленного робота.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникационные технологии - преподаватель использует для получения информации при подготовке к занятиям.

- ОС Windows 7 Professional;
- Microsoft Imagine Premium;
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level;
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| <i>Вид занятия</i> | <i>Наименование аудитории</i> | <i>Перечень основного оборудования</i> | <i>№ ПЗ</i> |
|--------------------|--|--|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Лк | Лекционная аудитория | - | - |
| | Лаборатория современных технологий лесозаготовок | Проектор, ПК, интерактивный экран | |
| ПЗ | Лаборатория лесных машин | - | №1-№6 |
| | Лаборатория современных технологий лесозаготовок | Проектор, ПК, интерактивный экран | |
| СР | ЧЗ1 | - | - |

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

| № компетенции | Элемент компетенции | Раздел | Тема | ФОС |
|---------------|--|--------------------------|--------------------------|------------------|
| ПК-9 | умение применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению | 1. Роботы и манипуляторы | 1.1. Промышленные роботы | Вопросы к зачету |

2. Вопросы к зачету

| № п/п | Компетенции | | ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ | № и наименование раздела |
|-------|-------------|--|--|--------------------------|
| | Код | Определение | | |
| 1. | ПК-9 | умение применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению | 1. Робот, классификация робототехнических систем. 2. Манипулятор: структура и классификация. 3. Классификация промышленных роботов. 4. Функциональная структура промышленных роботов. 5. Технические характеристики промышленных роботов. 6. Конструкция промышленных роботов. 7. Системы координат и формы рабочих зон промышленных роботов. 8. Компоновочные и кинематические схемы промышленных роботов, конструктивные особенности. 9. Технологические, универсальные и вспомогательные роботы. 10. Системы управления роботом-манипулятором и их классификация. 11. Виды систем управления. 12. Системы информации роботов. 13. Приводы промышленных роботов. 14. Захватные устройства промышленных роботов. 15. Планирование траектории и управление манипулятором промышленного робота. | 1. Роботы и манипуляторы |

| | | | | |
|--|--|--|---|--|
| | | | 16. Очувствление работа в дальней и ближней зонах. 17. Система технического зрения промышленного робота. | |
|--|--|--|---|--|

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

| Показатели | Оценка | Критерии |
|---|-------------------|---|
| Знать ПК-9: – причины нарушения технологических процессов и мероприятия по их предупреждению; | зачтено | Зачтено выставляется обучающимся обнаружившим всесторонние знания по систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки |
| Уметь ПК-9: – применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности. | | |
| Владеть (ПК-9): – навыками по выявлению причин нарушения технологических процессов. | не зачтено | Не зачтено выставляется обучающимся не усвоившим знания по систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки |

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Роботы и манипуляторы в лесном комплексе направлена на ознакомление обучающихся с основами робототехники; на ориентацию бакалавров в современных робототехнических комплексах, применяемых в лесном комплексе.

Изучение дисциплины Роботы и манипуляторы в лесном комплексе предусматривает:

- лекции;
- практические занятия;
- самостоятельную работу;
- зачет.

В ходе освоения раздела 1 Роботы и манипуляторы обучающиеся должны уяснить основные понятия робототехники, структуру и характеристики промышленного робота, системы координат основных движений манипулятора, системы промышленных роботов.

Необходимо овладеть навыками и умениями определения кинематики и динамики манипулятора, определения системы управления и очувствления промышленного робота, расчета траектории перемещения промышленного робота.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется на первом этапе обратить внимание на классификацию промышленных роботов, далее уяснить структуру и системы промышленного робота, после чего переходить к изучению систем координат основных движений манипулятора промышленного робота.

Обучающемуся необходимо овладеть следующими ключевыми понятиями: промышленный робот, манипулятор, схват, рабочая зона робота, датчик, очувствление, система технического зрения.

При подготовке к зачету рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: классификация робототехнических систем, структура манипулятора, компоновочно-кинематические схемы промышленных роботов.

В процессе проведения практических занятий происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков применения принципов обеспечения технологичности

промышленных роботов и машин манипуляторного типа на практике.

Самостоятельную работу необходимо начинать с повторения пройденного материала и изучения источников рекомендуемой литературы.

В процессе консультации с преподавателем студент задает уточняющие вопросы для более полного раскрытия тем дисциплины и получает рекомендации преподавателя для самостоятельного изучения неусвоенного материала.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий (в виде лекций и практических занятий) в сочетании с внеаудиторной работой.

АННОТАЦИЯ рабочей программы дисциплины

Роботы и манипуляторы в лесном комплексе

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является: изучение основ робототехники и конструкции манипуляторов, используемых в лесозаготовительной промышленности.

Задачей изучения дисциплины является: сформировать знания о машинах манипуляторного типа, принципах их действия и устройстве, основных параметрах, классификации и области применения.

2. Структура дисциплины

2.1 Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, 3 зачетных единиц

2.2 Основные разделы дисциплины:

1 – Роботы и манипуляторы.

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-9 - умение применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению.

4. Вид промежуточной аттестации: зачет.

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 20__-20__ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры № _____ от «___» _____ 20__ г.,
(разработчик)

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

(Ф.И.О.)