

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.19 Робототехника

**Направление подготовки** *09.03.01 Информатика и вычислительная техника*

**Профиль образовательной программы** *Автоматизированные системы обработки информации и управления*

**Форма обучения** *заочная*

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **1. Конспект лекций**

**1.1 Лекция № 1** Робототехника основные понятия и классификация.

**1.2 Лекция № 2** Структура и устройство промышленных роботов.

### **2. Методические указания по выполнению практических занятий**

**2.1 Лабораторная работа № 1, 2** Робототехника основные понятия и классификация

**2.2 Лабораторная работа № 3, 4** Структура и устройство промышленных роботов

**2.3 Лабораторная работа № 5** Промышленные роботы и их классификация

# 1. Конспект лекций

## 1.1 Лекция № 1 (2 часа)

**Тема:** «Робототехника основные понятия и классификация.»

### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. История развития робототехники.
2. Терминология в области робототехники.

### 1.1.2 Краткое содержание вопросов:

Основной причиной, заставляющей человека развивать новые сферы науки и техники, является присущее ему с давних пор стремление улучшить свою жизнь и возможности во взаимодействии с внешней средой. Характер такого взаимодействия весьма разнообразен и может быть не только трудным, но и физически непосильным. Поэтому с незапамятных времен люди мечтали изобрести различные инструменты, механизмы, машины с целью облегчения своего труда, повышения качества и производительности. Вначале это были мечты, существовавшие в мифах, сказках, преданиях. Известен, например, древнегреческий миф о создании богом огня Гефестом двух рабынь из золота, прислуживающих ему, а также золотых треножников, выполнявших простейшие команды типа: принести, подать, унести. При раскопках гробниц фараонов археологи обнаруживали усыпальницы детей, где были найдены куклы с подвижными руками и ногами. Это первое свидетельство о стремлении людей сотворить искусственного человека. По мере развития цивилизации мечты начали воплощаться в такие технические решения, как различные механизмы и машины, автоматы для открывания дверей храмов, автоматы для продажи «святой» воды и т.п. В 16 в. до н.э. римский император Витрувий сформулировал следующее определение машины: «машина есть взаимосвязанное соединение деревянных частей, обеспечивающее наибольшую выгоду при поднятии тяжестей. Она приводится в действие искусственно». Первые автоматы, использующие энергию воды и воздуха, были описаны Героном Александрийским в работе «Пневматика» около 120 лет до нашей эры. Он же написал первую книгу «Механические проблемы». В 1500 г. Леонардо де Винчи создал механического льва, который при въезде короля в город открывал герб Франции. С течением времени механизмы совершенствовались, на основе различных механизмов делаются попытки создания не только человекоподобных автоматов, но и моделей животных и птиц. Известна, например, искусственная утка французского механика Жака Вокансона (1736 г.), которая подобно живой могла прыгать, плескаться в воде, кричать, клевать и даже переваривать пищу при помощи скрытых внутри нее химических веществ. Известны автоматы швейцарского часовщика Жаке-Дроза «Писец», умеющий писать, и «Флейтист», умеющий играть 11 мелодий. В 1827 г. В Санкт-Петербурге демонстрировался «Храм очарований или механический, физический и оптический кабинеты». Чудеса начинались с лестницы – искусственная женщина начинает играть на валторне, если кто-то заходит на площадку. У входа в зал кланялись механические слуги. Если кто-то садился на диван – слуга-автомат выносил поднос с напитками. Создание механических автоматов потребовало от человека знания законов механики и позволило определить основные функциональные элементы самодействующей техники: движитель, механизм взаимодействия, рабочий инструмент, пусковое устройство. Появилось обоснованное представление о системе как совокупности элементов, которые находятся во взаимосвязи друг с другом, влияют друг на друга и на систему в целом. Механизм любой машины состоит не из одного, а из нескольких тел, соединенных между собой так, чтобы движения рабочих органов машин было определенными. Каждые два звена (элементарные составляющие) механизма, сочлененные друг с другом, образуют кинематическую пару. Пары различаются формой и количеством связей, наложенных на сочлененные ими звенья. В пространственном движении тело имеет шесть степеней свободы и, следовательно, для придания движению определенности нужно наложить на него пять связей. Такое количество связей могут

наложить шарнир, ползун, винт-гайка. Три степени свободы разрешает и, следовательно, накладывает три связи, сферический шарнир. Кинематической цепью называется последовательность связанных попарно звеньев. Механизм можно образовать не только из замкнутой кинематической цепи, но и из разомкнутой, примером является манипулятор и его прообраз – человеческая рука. С точки зрения механики рука представляет собой разомкнутую кинематическую цепь, состоящую из ряда звеньев (костей), связанных между собой кинематическими парами (суставами). Существуют механизмы с несколькими ведущими звеньями, в общем случае число ведущих звеньев может совпадать с числом степеней свободы механизма. Таким образом, механизмом называется такая кинематическая цепь, в которой при заданном движении одного или нескольких звеньев относительно любого из них все остальные совершают однозначно определяемые движения. Каждый механизм должен иметь возможность передавать и преобразовывать движение и работу так, чтобы на выходе они приобретали необходимые кинематические и динамические параметры. После того, как построена кинематическая цепь, необходимо определить скорость и ускорение движения всех точек, которые могут интересовать конструктора, а также угловые скорости и ускорения звеньев. Полученные величины позволяют определить передаточные отношения соответствующих механизмов.

Противоположная задача - построение механизма по заданным условиям его работы – является принципиально иной: она многозначна. Для решения одной и той же кинематической задачи можно применить различные механизмы, которые могут содержать и разные кинематические пары. Во времена И.Ньютона и Л.Эйлера были открыты силы взаимодействия. Они являются причиной изменения скоростей движения тел, их формы, состояния, состава и пр. Исчезновение сил равнозначно исчезновению реальных объектов. Силы пропорциональны ускорениям. Работа, произведенная источником энергии, передается на ведущее звено, а затем и на ведомое, к которому приложена технологическая нагрузка. Кроме нагрузки есть еще силы вредного сопротивления, например, силы трения. Каждое звено и механизм должны удовлетворять условиям прочности. Упругость, а также некоторые характерные особенности кинематических пар, соединяющих звенья, вносят в движение еще одну неопределенность, которую нельзя недооценивать. Речь идет о механических колебаниях, которые возникают в процессе работы. Колебания могут снизить точность исполнения операций, поэтому их необходимо гасить. В XVII-XVIII веках механические автоматы создавались на основе часовых механизмов, в XIX веке на основе паровых двигателей, а с первой половины XX века на базе электромеханических и электронных устройств. Но самые совершенные орудия труда пришли на помощь человеку с открытием явления обратной связи и познанием его основных закономерностей. Первая конструкция автоматического регулятора появилась в 1510 году (регулятор подачи зерна на водяных мельницах), в 1760 г. И.П.Ползунов разработал регулятор уровня, в 1784 г. Джеймс Уатт получил патент на регулятор скорости оборотов. Таким образом, первые попытки введения обратной связи в механических системах были сделаны в XVI-XVIII веках.

Обратная связь – это воздействие результатов функционирования какой-либо системы (объекта) на характер этого функционирования. Подробно свойства обратной связи были изучены Христианом Гюйгенсом в 1657 году. Он исследовал обычные пружинные часы с маятником, выяснив, как зависит ход часов от длины, положения массы маятника. Обратная связь позволила создать сервомеханизмы. Основная функция сервомеханизма заключается в создании переменного выходного сигнала той же переменной формы, какой обладает и переменный входной сигнал с тем условием, что энергия, связанная с выходным сигналом, должна заимствоваться из местного источника, а не поставляться непосредственно входным сигналом. Таким образом, сервопривод является усилителем с обратной связью, в котором причина, приводящая систему в действие, зависит от разности выходного и входного сигнала. Работа машин и механизмов с обратной связью поддается точному описанию и расчету. Занимается этим особое направление науки – теория

автоматического регулирования. IX век, Багдад. Ученый звездочет Аль-Хорезми по приказу халифа пишет книгу, в которой учит как делить наследство. Чтобы было понятно, он ввел цифровое исчисление, которым мы пользуемся до сих пор. Но существуют и другие системы счисления, в которых основанием является не 10, а какое-либо другое число, например, 2 (двоичная система), 8 (восьмеричная), 16. Изобретение двоичной системы история приписывает китайскому императору Фо Ги, жившему 3400 лет до нашей эры. Появление различных систем счисления привело к необходимости механизации счета. С этой целью были созданы китайские и отечественные счеты. Около 1300 г. каталонский философ Р.Луль предложил схему логической машины, примерно в 1660 г. Шиккард (профессор Тюбингенского университета) изобрел первую счетную машину. Затем Г.Лейбниц (1647-1716), один из основоположников современной математики, создал счетную машину, на которой можно было производить все четыре арифметических действия. Г.Лейбниц разработал основы математики не только непрерывных, но и дискретных процессов. С целью более глубокого познания свойств окружающего мира изобретались приборы и устройства, расширяющие не только физические, но информационные возможности людей. В середине 40-х годов XX века появились первые успехи в создании и развитии устройств микроэлектроники. А в середине XX века появился новый класс машин - электронные вычислительные машины, усиливающие интеллектуальные возможности человека. Основное правило, по которому производятся вычисления в ЭВМ, - это последовательность выполнения элементарных логических операций. Сложная задача, решаемая на ЭВМ, расчленяется на отдельные простейшие логические операции, выполнение которых происходит в простых электронных устройствах - ячейках. Первые методы перевода математических действий на язык командных вычислительных машин были предложены Дж.Фон Нейманом. Это привело к созданию стандартных схем и цепей для построения машинных входов. В последующем менялась лишь элементная база. Бурное развитие микроэлектроники позволило резко сократить стоимость и массово - габаритные характеристики электронных схем, способных выполнять сложные математические и логические операции, повысить их быстродействие и надежность работы в тяжелых условиях. К началу 60-х годов независимо друг от друга были созданы дешевые и быстродействующие мини- и микроЭВМ, весьма развитая телевизионная аппаратура и большое количество датчиков. В результате этого появилась возможность легко встраивать вычислительные устройства в самые различные машины и приборы. К числу устройств микроэлектроники, работающих совместно с механическими системами машин, наиболее часто относят интегральные схемы, большие и сверхбольшие интегральные схемы, а также другие микроминиатюрные приборы. Главную роль играют программируемые интегральные схемы, среди которых видное место занимают микроминиатюрные вычислительные устройства - микропроцессоры. С древних времен человек погружен в мир информации. Слово «информация» происходит от латинского «informatio», что означает разъяснение, изложение. Когда-то это слово обозначало сведения, передаваемые устно, письмом, или каким либо другим способом (дым костров в Древней Греции, сигнальные флаги на кораблях и т.п.). В 1928 г. Р.Хартли впервые ввел понятие информации в науку. В наше время информацию передают телефон, радио, телевидение, книги, газет и т.п. Процесс передачи информации почти всегда связан с проблемой кодирования ее в месте передачи и декодирования в месте приема. Теоретическая ветвь развития машинного языка вырастает из работ английского математика Дж.Буля (1815-1864), создавшего алгебру высказываний. С помощью булевой алгебры можно анализировать работу рефлексных автоматов и осуществлять их системотехническое решение. Бистабильные элементы связаны с применением принципа «да-нет» и развитием теории электрических контактных схем. Возможность синтеза структуры позволила творчески подойти к созданию автоматов. К абстрактному конечному автомату оказалось удобным применить и еще одну абстракцию в виде черного ящика, имеющего конечное число дискретных

внутренних состояний, входов, выходов. Для логико-математического описания черного ящика была предложена совокупность правил, определяющих переход из одного состояния в другое, а также его выход в любой момент времени. Такая совокупность правил была названа алгоритмом, а дисциплина, изучающая их, - теорией алгоритмов. Прямой аналог системы, которая реализовывала бы универсальный алгоритм, виделся в образе человеческого мозга. В 1943 г. У.Мак-Калон и У.Питс (массачусетский технологический институт) создали абстрактную модель нейрона, С.К.Клини (Висконсинский университет) доказал теорему о поведении нейронной сети. Рассматривая аналогию между нервной системой, вычислительными машинами и системами автоматического регулирования, ученые развивали теорию алгоритмов, которая затем стала одним из теоретических истоков вычислительной математики. Для решения различных задач потребовалась разработка разнообразных языков программирования. Многие ученые начали работать в этом направлении. Широко известны Д.Скотт, автор языка программирования ЛИСП, ставшего одним из главных инструментов искусственного интеллекта, А.Н.Колмогоров, предсказавший появления трансляторов (средств машинного перевода с одного языка на другой), А.А.Ляпунов, разработавший операторный метод программирования и другие. Программирование стало научной дисциплиной, изучающей способы реализации алгоритма работы ЭВМ и его записи (на одном из языков программирования) в виде программ. В 1920 году чешский писатель Карел Чапек пишет пьесу под названием «Россумские универсальные роботы». На Всемирной выставке в 1933 г., открывшейся в Чикаго с целью показать достижения техники за последние 100 лет, был представлен робот, который продевал нитку в иголку. В отделе «медицина» макет мужчины читал лекцию о процессе пищеварения. Во время лекции он расстегивал жилет и показывал часть грудной клетки и живота. В 1958 г. американская фирма «Пленит корпорейшен оф лансинг» изготовила одну из первых моделей механической руки, названной планоботом. Назначение – загрузка, разгрузка станков. Рука имела 45 программируемых положений кисти и запястья. В 1961 г. фирма «Дженерал электрик» изготовила хардимена (стойкого человека), который мог поднимать и переносить груз до 453,6 кг. В 1962 г. американские фирмы «Юнимейшен инкорпорейтед» и «АМФ Версатран» создали первые промышленные роботы. Наряду с этим появились первые дистанционно управляемые руки – телехирики. В 1970-75 гг. появились мобильные автооператоры с элементами искусственного интеллекта, управляемые от ЭВМ. Появление в 70-х годах микропроцессорных систем управления позволило снизить стоимость роботов в три раза, сделав рентабельным их массовое внедрение в промышленность. Этому способствовали также следующие объективные предпосылки развития производства: - рост затрат на рабочую силу; - насыщение рынка товаров и обострение конкурентной борьбы; - дефицит рабочих на опасных, тяжелых и монотонных работах; - неполная загрузка оборудования; - снижение рождаемости в развитых странах и повышение образовательного уровня; - необходимость повышения качества продукции, экономии материалов и энергии. Со времени появления первого промышленного робота прошло три бума роботизации. Первый начался в 1968 г. с применением микропроцессоров для управления роботами и быстро закончился из-за ненадежности и несовершенства роботов первого поколения. Второй бум связан с появлением адаптивных роботов в 1972 г., когда возможности робототехники начали расширяться. Появление в 1980 г. роботов с элементами искусственного интеллекта стало началом третьего бума промышленной робототехники. Эффективность от применения ПР достигается только при комплексном подходе к созданию и внедрению ПР. Единичное внедрение промышленных роботов – нецелесообразно. Только расширенное применение ПР будет оправдано как технологически, так и экономически и социально. Применение ПР позволяет переходить к многостаночному обслуживанию, а следовательно и к экономии рабочей силы и к работе оборудования в две и три смены. Изменяется также и роль рабочего – он становится более квалифицированным специалистом – наладчиком,

оператором. Применение ПР позволяет решать не только экономические, технические, но и социальные вопросы, особенно в случае необходимости замены рабочего на участках с вредными условиями труда. Применение роботов позволяет значительно улучшить качество выпускаемой продукции. Качество машины оценивается совокупностью специально подобранных показателей (или критериев), выбор которых определяется ее служебным (функциональным) назначением. Машины нового поколения должны отвечать таким общим критериям, как отношение цена/качество, высокая надежность и безопасность функционирования, гибкость и быстрая реконфигурация при переходе на новое изделие. К числу современных требований к функциональным и техническим показателям модулей и машин в первую очередь следует отнести: - выполнение качественно новых служебных и функциональных задач, - сверхвысокие скорости движения конечного звена машины – ее рабочего органа, что определяет новый уровень производительности технологических комплексов, - компактность модулей и движущихся систем, миниатюризация конструкций, - ультрапрецизионные движения модулей с целью реализации новых прецизионных технологий вплоть до микро- и нанотехнологий, - новые кинематические структуры и конструктивные компоновки многокоординатных машин, - интеллектуальное поведение систем, функционирующих в изменяющихся и неопределенных внешних средах, - выполнение пространственных движений по криволинейным траекториям и реализация сложных законов перемещения во времени. По мере развития робототехники появились гибкие производственные системы, обеспечивающие полную автоматизацию технологического цикла. Теоретическую основу робототехники составляют два направления: синтез управляемых механических устройств и управление механическими устройствами с помощью электроники. В последние годы в робототехнике происходят качественные изменения, основанные на использовании достижений новой науки – мехатроники. Мехатроника – это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающая проектирование и производство качественно новых модулей, систем и машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями.

Единого, общепринятого определения современных роботов пока не существует. Однако многие определения похожи друг на друга и в том или ином виде отражают тот факт, что робот активно взаимодействует с внешней средой и проявляет при этом некоторые элементы разумности. Например, в технической литературе можно встретить такое определение: робот - это автономно функционирующая универсальная автоматическая машина, предназначенная для воспроизведения определенных физических, двигательных и умственных функций человека, наделенная теми или иными средствами обратной связи (слухом, зрением, осязанием и т. п.), а также способностью к обучению и адаптации в процессе активного взаимодействия с окружающей средой. В настоящее время разработан ряд нормативных документов и руководящих материалов по терминологии в робототехнике: ГОСТ 25686 - 85 "Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Термины и определения", стандарт СЭВ 5948 -87 "Роботы промышленные. Термины и определения", Технический отчет международной организации стандартизации ИСО 8379 "Манипуляционные промышленные роботы. Словарь", терминология, разработанная комиссией по проблеме "Робототехника и автоматизированное производство" "Теория робототехнических систем. Терминология". Некоторые термины и определения из терминологии "Теория робототехнических систем. Терминология": РОБОТОТЕХНИКА - область науки и техники, связанная с созданием, исследованием и применением роботов. Робототехника охватывает вопросы проектирования, программного обеспечения, оцувствления роботов, управления ими, а также роботизации промышленности и непромышленной сферы.

### **Контрольные вопросы:**

1. Какую область науки и техники занимает робототехника?
2. Из чего состоит механизм?
3. Что называется кинематической цепью?
4. Что такое сервомеханизм?
5. Каковы основные определения робототехники?
6. Каковы причины повышения рентабельности применения роботов?
7. Сколько поколений роботов Вы знаете?
8. Чем отличаются между собой поколения роботов?
9. Каковы этапы развития робототехники?
10. Что представляет собой наука мехатроника?
11. Какими характеристиками отличаются интеллектуальные роботы?
12. Чем отличаются роботы второго поколения?
13. Что понимается под гибкостью роботов?

## 1.2 Лекция № 2 (2 часа)

**Тема: «Структура и устройство промышленных роботов.»**

### 1.2.1 Вопросы лекции:

1. Кинематические цепи.
2. Структура промышленного робота.
3. Задачи кинематического исследования.

### 1.2.2 Краткое содержание вопросов:

Структура и устройство промышленных роботов. Основными составными частями ПР являются манипулятор и устройство управления. В свою очередь, каждая из этих частей включает ряд блоков (рис.2.1 ). Рис.2.1. Структура промышленного робота Манипулятор – управляемое устройство или машина для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении объектов в пространстве, оснащенный рабочим органом. Манипулятор помимо собственной манипуляционной системы содержит рабочий орган, привод и устройство передвижения. Та часть устройства управления, которая вырабатывает управляющие сигналы для привода, рабочего органа, устройства передвижения, называется блоком управления. Последовательность управляющих сигналов формируется в ЭВМ на основании программы, предварительно записанной в нее оператором через систему связи, и с учетом сигналов, поступающих от датчиков информационно-измерительной системы. Конструктивно манипулятор и устройство управления могут быть объединены в одной стойке, но могут быть выполнены раздельно и располагаться на некотором удалении друг от друга. Исполнительный механизм (ИМ) - механическая часть исполнительного устройства промышленного робота, реализующая двигательную функцию - представляет собой систему твердых и упругих тел, соединенных между собой различными видами связей. Твердые тела, входящие в состав исполнительного механизма и являющиеся функциональными элементами его кинематической цепи называются звеньями. Звено исполнительного механизма конструктивно может состоять из нескольких деталей, не имеющих между собой относительного движения. Соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающих их относительное движение, называется кинематической парой. Совокупность поверхностей, линий и точек звена, входящих в соприкосновение (контакт) с другим звеном пары, называется элементом пары. Для того чтобы элементы пары находились в постоянном соприкосновении, пара должна быть замкнута геометрическим (за счет конструктивной формы звеньев) или силовым (силой тяжести, пружиной, силой давления жидкости или газа и т.п.) способом. Контактирующие поверхности, линии и точки звеньев, являющиеся элементами кинематической пары, могут образовывать простые и сложные кинематические пары. В простой кинематической паре (рис. 2.2 а) контактируют только два элемента 1 и 2, которые определяют соответствующее число компонент реакций связей. В сложной паре (рис. 2.2 б) необходимые геометрические



связи дублируются дополнительными связями 11 и 21. Дополнительные элементы кинематических пар вводят для уменьшения давления и износа контактирующих поверхностей за счет перераспределения реактивных сил и увеличения размеров элементов кинематических пар. Рис. 2.2. Кинематические пары: а) простые, б) сложные. Если помимо необходимых элементов кинематической пары, обусловленных требуемыми геометрическими связями, при конструировании используют дополнительные элементы, то в такой сложной кинематической паре могут появиться избыточные локальные связи. При наличии избыточных локальных связей относительное движение звеньев либо становится невозможным (заклинивание, защемление элементов), либо осуществляется за счет деформации звеньев, увеличенных зазоров между реальными поверхностями элементов или их износа. Чтобы кинематическая пара была работоспособной и надежной в эксплуатации, предъявляют определенные требования к размерам, форме и относительному положению ее элементов. Обычно указывают пределы отклонений от заданных или требуемых геометрических форм и расположения поверхностей, осей или точек. Схема кинематической пары, отражающая только необходимое число геометрических связей, называется основной. Схема кинематической пары, отражающая как необходимые, так и избыточные локальные (дополнительные) связи, называется действительной. Избыточные локальные связи вносят статическую неопределимость. Число избыточных локальных связей в реальной конструкции пары называется степенью статической неопределимости кинематической пары. Применение сложных кинематических пар с избыточными локальными связями возможно при достаточной жесткости звеньев, когда их деформация при воздействии нагрузок не приводит к заклиниванию элементов кинематических пар или их повышенному изнашиванию. Исполнительные механизмы, удовлетворяющие требованиям приспособляемости к деформациям звеньев, надежности, долговечности и технологичности конструкции, обладают оптимальной структурой. Оптимальная система расположения элементов кинематической пары - понятие относительное: конструкция оптимальная для одних условий, может быть неприемлемой для других. Часто это связано с технологичностью, как совокупностью свойств конструкции, проявляемых при оптимальных затратах труда, средств, материалов и времени при принятых условиях изготовления, эксплуатации и ремонта промышленного робота. Конструкция, достаточно технологичная в единичном производстве, часто оказывается малотехнологичной в массовом производстве и совершенно нетехнологичной в автоматизированном производстве. Кинематические пары классифицируют по числу связей (ограничений), налагаемых парой на относительное движение звеньев (классификация И. И. Артоболевского) на кинематические пары пятого, четвертого, третьего, второго и первого классов (рис. 2.3). Рис. 2.3. Примеры кинематических пар. По характеру соприкосновения звеньев кинематические пары делят на низшие, если элементы звеньев соприкасаются только по поверхности, и высшие, если элементы звеньев соприкасаются только по линиям или в точках. При этом линейный или точечный контакт понимается как первоначальный при соприкосновении звеньев без усилия, а под нагрузкой звенья, образующие высшую пару, будут соприкасаться по некоторой фактической поверхности, называемой пятном контакта. Преимущество низших кинематических пар по сравнению с высшими - передача больших сил, поскольку контактная поверхность соприкасающихся звеньев низшей пары может быть весьма значительна. Применение высших пар позволяет уменьшить трение (пример - шарикоподшипник) и получать нужные, самые разнообразные законы движения выходного звена путем придания определенной формы звеньям, образующих высшую пару. Кинематические пары во многом определяют работоспособность и надежность исполнительного устройства промышленного робота, поскольку через них передаются усилия от одного звена к другому; в кинематических парах, вследствие относительного движения, возникает трение, элементы пары находятся в напряженном состоянии и в процессе

изнашивания. Конструкция сложных кинематических пар наряду с повышением жесткости и точности должна обеспечивать непринужденную сборку узлов и позволять исполнительному механизму сохранять заданное число степеней подвижности при возможных деформациях стойки, валов, осей и других деталей под действием внешних нагрузок. В исполнительных механизмах промышленных роботов используют кинематические пары только 5, 4 и 3 классов, но в основном кинематические пары 5-го класса. Пары 4 и 3 классов эквивалентно заменяют комбинацией двух или трех пар 5-го класса (рис. 2.4.), т.е. кинематическим соединением – кинематической цепью, конструктивно заменяющей в исполнительном механизме кинематическую пару. Рис. 2.4. Варианты замены кинематических пар высшего класса низшими. Звено, принимаемое за неподвижное, называется основанием (стойкой). Звено, которому сообщается движение, преобразуемое исполнительным механизмом в требуемые движения других звеньев, называется входным. Звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен исполнительный механизм, называется выходным (конечным, последним). Максимальное число входных звеньев равно числу степеней подвижности исполнительного механизма. Звенья манипулятора соединяются друг с другом с помощью кинематических пар пятого порядка (по классификации теории механизмов и машин), вращательных и поступательных. Каждое звено имеет свое наименование. Так, с неподвижным основанием связана колонна, с колонной связана каретка, с кареткой – рука, с рукой – кисть, с кистью – захват (рис.2.5). Рис. 2.5. Кинематика манипулятора промышленного робота. Эти звенья образуют друг с другом кинематические пары 5-го класса, имеющие по одной степени подвижности. Каждая кинематическая пара получает движение от управляемого привода. Система звеньев, связанных между собой кинематическими парами называется кинематической цепью. В зависимости от вида движения звеньев кинематические цепи подразделяют на плоские (рис 2.6, а, в) - звенья движутся в одной или нескольких параллельных плоскостях, и пространственные (рис. 2.6, б, г) - звенья движутся в пространстве. Рис. 2.6. Примеры кинематических цепей. Кинематические цепи могут быть замкнутыми (рис.2.6,в) и незамкнутыми (рис. 2.6, а, б, г). Кинематические цепи исполнительных механизмов ПР являются в основном незамкнутыми. Существуют незамкнутые кинематические цепи с местными замкнутыми контурами (рис. 2.6, г). Исполнительный механизм промышленного робота в процессе функционирования может иметь различную структуру. Во время движения в пространстве его можно рассматривать как незамкнутую кинематическую цепь. При выполнении технологической операции на движение исполнительного механизма накладываются дополнительные связи и он превращается в замкнутый механизм. Для полного осуществления пространственного движения необходимо иметь в манипуляторе шесть степеней подвижности, из них три нужны для приведения конца манипулятора в требуемую точку пространства (переносные движения), еще три – для получения необходимой угловой ориентации захватного устройства (ориентирующие степени подвижности). Под степенями подвижности манипулятора (степенями свободы) понимают обобщенные координаты, определяющие в пространстве положения его звеньев. Число степеней подвижности манипулятора  $n$  определяется по формуле  $\sum_{i=1}^n (6 - P_i) = 6n - \sum_{i=1}^n P_i$  где  $k$  – число подвижных звеньев;  $P_i$  – число кинематических пар  $i$ -го класса. Например, в рассматриваемом случае манипулятор, изображенный на рис. 2.5 содержит 5 подвижных звеньев (исключая неподвижное основание и внутреннее подвижное звено в захвате), образующих 5 кинематических пар 5-го класса. Поэтому  $n = 6 \cdot 5 - 5 \cdot 5 = 5$ . Различают следующие степени подвижности: координатные (глобальные) - обеспечивающие выведение манипулятора в зону манипулирования; переносные (рабочие) - определяющие выведение захвата в заданные места рабочей зоны; ориентирующие (локальные) – обеспечивающие требуемые ориентации захвата в заданном месте рабочей зоны. Если рабочая зона является объемной, то манипулятор должен иметь не менее трех переносных степеней подвижности. В случае плоской зоны манипулирования

достаточно иметь лишь две переносные степени свободы. Увеличение числа степеней подвижности усложняет манипулятор, но одновременно увеличивает его маневренность, т.е. способность обходить препятствия в рабочей зоне. Конфигурация манипулятора зависит от выбранной системы координат его функционирования. С этой точки зрения различают манипуляторы, работающие в декартовой, цилиндрической, сферической и угловой (угловой) системах координат. Конструкция ПР зависит и от количества рук манипуляционной системы, управляемой одним и тем же устройством управления, а также от типа устройств передвижения. Объектом манипулирования называют тело, перемещаемое в пространстве манипулятором. К объектам манипулирования относят заготовки, детали, вспомогательный, мерительный или обрабатывающий инструмент, технологическую оснастку и т.п. Рабочий орган – составная часть исполнительного устройства промышленного робота для непосредственного выполнения технологических операций и/или вспомогательных переходов. Основная особенность ПР заключается в том, что он предназначен для работы с другим технологическим оборудованием (ТО) и, по существу, представляет собой элемент этого оборудования, позволяющий создавать роботизированные технологические комплексы. Поэтому структуру ПР, работающего совместно с некоторым технологическим оборудованием можно представить так, как это показано на рис. 2.7. Рис. 2.7. Структура промышленного робота. В общем случае технологическое оборудование состоит из тех же блоков и устройств, что и ПР. Как и ПР оно включает в себя блок управления, привод, рабочие органы, которые подобно рабочему органу ПР взаимодействуют с объектом манипулирования. ТО имеет также свои датчики, определяющие положение его рабочих органов, т.е. датчики внутренней информации. Исполнительные элементы как ТО, так и ПР управляются от ЭВМ. Единственное отличие ПР от ТО заключается лишь в том, что он дополнительно содержит антропоморфную исполнительную систему – манипулятор. Очевидно, что характер обслуживаемого ТО существенно влияет на конструкцию и технические характеристики ПР. По этой причине говорят не о ПР вообще, а роботах-сборщиках, роботах прессового производства, роботах сварщиках и т.п. Универсальность ПР, как перепрограммируемой манипуляционной системы, носит не абсолютный, а относительный характер, поскольку имеет смысл лишь в рамках того оборудования, для обслуживания которого проектируется робот. Базовые системы координат манипулятора. Число степеней подвижности и каждое движение робота обеспечивается соответствующей кинематической схемой его механизмов. Кинематические схемы роботов имеют определенные структуры кинематики рук и кисти, которые зависят от вида и последовательности расположения вращательных (В) и поступательных (П) кинематических пар. Разработана классификация кинематических структурных схем руки и манипуляторов, состоящая из пар: 1 – ВВВ, трех вращательных; 2 – ВВП, двух вращательных и одной поступательной; 3 – ПВП, ВПП, ППВ, двух поступательных и одной вращательной; 4 – ППП – трех поступательных. Форма рабочей зоны и возможности манипулирования объектом также определяются кинематической структурной схемой кисти манипулятора (жесткая, В, ВВ, ВВВ). Характер переносных степеней подвижности (поступательных и вращательных) определяет базовую систему координат манипулятора. Если поступательных переносных степеней подвижности три ( $P=3$ ), а вращательных вообще нет ( $V=0$ ), то базовая система координат является прямоугольной, а рабочая зона имеет форму параллелепипеда (рис.2.8). Рис.2.8. Прямоугольная система координат. Несмотря на простоту конструкции, ПР с такой системой координат встречаются довольно редко, т.к. имеют большие габариты при малом объеме рабочей зоны и характеризуются сравнительно невысоким быстродействием. Такие роботы обычно либо подвешиваются над обслуживаемым технологическим оборудованием, либо монтируются на направляющих каретках под ним. В том случае, когда  $P=2$ ,  $V=1$ , рабочая зона ПР приобретает цилиндрическую форму, вернее форму неполного цилиндра (рис.2.9). Рис. 2.9. Цилиндрическая система координат. Соответствующая этому случаю

базовая система координат  $R, H, \varphi$  удобна и получила большое распространение. Она обеспечивает обслуживание большого объема рабочей зоны, но имеет недостаток, связанный с трудностью организации манипулирования предметами на малой высоте. Если  $\Pi=1, B=2$ , то рабочая зона представляет собой неполный шар, а базовая система координат  $R, \theta, \varphi$  является сферической. Это наиболее универсальная система координат (рис. 2.10). Она обеспечивает обслуживание большого объема рабочей зоны, чем при прямоугольной и цилиндрической системах координат. Однако конструкция манипулятора в этом случае получается более сложной, а ПР нуждается в более сложной системе управления. Рис. 2.10 Сферическая система координат. При  $\Pi=0, B=3$  получают ангулярную (угловую) базовую систему координат  $\gamma, \theta, \varphi$  (рис. 2.11). Рис. 2.11. Ангулярная система координат. Такая система координат наиболее универсальна, обеспечивает обслуживание наибольшего объема рабочей зоны и позволяет строить ПР, обладающие максимальной антропоморфностью. Однако конструкция манипулятора очень сложна, громоздка и предполагает сложную систему управления. Недостатком является также то, что жесткость манипулятора в ней понижена, из-за чего возникают трудности обеспечения необходимой точности позиционирования. Прямоугольная система координат реализуется тремя поступательными кинематическими парами, цилиндрическая – двумя поступательными и одной вращательной, сферическая – двумя вращательными и одной поступательной, угловая – тремя вращательными. Анализ кинематических схем манипуляторов показывает две основные особенности: - оси кинематических пар расположены параллельно либо перпендикулярно друг другу, - звенья соединены в последовательную кинематическую цепь. Вместе с тем они имеют ряд существенных недостатков: - низкий показатель грузоподъемность/масса манипулятора, что обусловлено последовательной схемой соединения звеньев. Действительно, каждый привод должен перемещать не только полезную нагрузку, но и все последующие по цепи звенья. - погрешности в перемещениях всех шарниров суммируются на концевой точке манипулятора, что приводит к низкой точности позиционирования манипуляторов по сравнению с машинами с декартовой компоновкой, - относительно низкая жесткость манипуляционных роботов, так как упругое отклонение рабочего органа есть результат накопления деформаций по цепи по всем степеням подвижности робота. Причем весовые коэффициенты этой суммы пропорциональны расстояниям от концевой точки до осей соответствующих шарниров. Задачи кинематического исследования. Составляется расчетная кинематическая модель, в которую входят размеры звеньев, количество и распределение кинематических пар. Положение кинематической цепи в пространстве определяется с помощью обобщенных координат  $q_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), которые характеризуют относительные перемещения звеньев как поступательные, так и вращательные. Рис. 2.12. Расчетные математические модели. Координаты концевой точки манипулятора  $P$  в рабочем пространстве определяются для первого случая (рис. 2.12.а):  $x_p = r \cdot \cos \varphi$ ,  $y_p = r \cdot \sin \varphi$ ,  $z_p = z$ ; Для второго случая (рис. 2.12, б):  $x_p = r \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2$ ,  $y_p = r \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2$ ,  $z_p = l + r \cdot \sin \varphi_2$ ; Для третьего случая (рис. 2.12. в):  $x_p = l_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 + l_3 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos(\varphi_2 + \varphi_1)$ ,  $y_p = l_2 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 + l_3 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos(\varphi_2 + \varphi_1)$ ,  $z_p = l_1 + l_2 \cdot \sin \varphi_2 + l_3 \cdot \sin(\varphi_2 + \varphi_1)$ . Эти соотношения и служат основой для кинематических исследований манипуляторов промышленных роботов. Решается прямая и обратная задачи о положении манипуляторов. Прямая задача состоит в расчете положения манипулятора (рабочего органа  $P$  и всех звеньев) по заданным относительным перемещениям  $q_i$  в кинематических парах. При этом определяется либо конечное число положений, либо перемещение во времени  $q_i(t)$ . Таким образом, в прямой задаче рассчитывают геометрические характеристики рабочей зоны робота при конструктивных ограничениях диапазонов возможного изменения обобщенных координат, точностные характеристики позиционирования и движения при заданных исходных погрешностях элементов, а также сервисные характеристики. Обратная задача состоит в определении обобщенных координат  $q_i$  по заданному в опорной системе координат  $(x, y, z)$  положению рабочего

органа Р или любого звена манипулятора. При этом, как и в прямой задаче, речь может идти о конечном числе положений, либо о законе движения рабочего органа  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$  для которого вычисляются законы изменения обобщенных координат  $q_i(t)$  звеньев. В аналогичных постановках решаются задачи об определении линейных и угловых скоростей и ускорений рабочего органа Р и звеньев манипулятора. Так, например, аналитическое решение обратной задачи для ранее рассмотренных кинематических моделей манипуляторов можно получить в следующем виде:  $r = (x_p^2 + y_p^2)^{1/2}$ ;  $\varphi = \arctg(y_p/x_p)$ ;  $z = z_p$ ; (первая модель)  $r = [x_p^2 + y_p^2 + (z_p - l)^2]^{1/2}$ ;  $\varphi_1 = \arctg(y_p/x_p)$ ;  $\varphi_2 = \arctg[(z_p - l)/(x_p^2 + y_p^2)^{1/2}]$  (вторая модель)

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:**

1. Как классифицируются кинематические пары?
2. Как определить степень подвижности манипулятора?
3. Каковы базовые системы координат манипулятора?
4. В чем сущность прямой задачи кинематики манипуляторов?
5. В чем сущность обратной задачи кинематики манипуляторов?
6. Какие звенья входят в конструкцию манипулятора
7. Что собой представляет структура манипулятора?
8. В какой системе координат работает манипулятор, выполненный по схеме ВПП?
9. В какой системе координат работает манипулятор, выполненный по схеме ППП?
10. В какой системе координат работает манипулятор, выполненный по схеме ВВВ?

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### 2.1 Лабораторная работа № 1, 2 (4 часа).

**Тема:** «Робототехника основные понятия и классификация»

#### 2.1.1 Краткое описание проводимого занятия:

Современный этап развития общества характеризуется ускоренными темпами освоения техники и технологий, и развитие автоматизированных систем является в нем закономерным процессом. Это вызывает необходимость умения решать задачи с помощью роботов и автоматов, которые можно спроектировать в реальной модели, т.е. непосредственно сконструировать и запрограммировать.

В данной статье мы решили рассмотреть разновидности роботов, их классификацию и области применения. Это позволит ориентироваться в мире робототехники и выбирать более актуальные тематики для последующей исследовательской работы.

Существует множество определений понятия «робот»:

- **робот**(от чешск. *robota*) – электромеханическое, пневматическое, гидравлическое устройство или их комбинация, предназначенное для замены человека в промышленности, опасных средах и др. (Википедия).
- **робот** – машина-автомат, моделирующая свойства и функции живых организмов и, в частности, имитирующая действия человека при перемещении в пространстве орудий и объектов труда (Большая советская энциклопедия).

Таким образом, робот – понятие неопределённое, и поэтому к классу роботов можно отнести многие автоматические устройства.

Анализируя литературные источники по данной теме, в зависимости от назначения и решаемого класса задач мы придерживаемся следующей классификации роботов.

1. **Производственные роботы** – это роботы, предназначенные для выполнения тяжелой, монотонной, вредной и опасной для здоровья людей физической работы. Виды производственных роботов представлены в таблице:

Виды	Применение	Примеры
Промышленные	автоматизация всех видов ручных и транспортных операций в различных отраслях промышленности	манипуляторы, роботы для покраски, сборки деталей, сварки, резки металла
Сельскохозяйственные	автоматизация трудоемких и монотонных процессов в сельском хозяйстве	полевые роботы, роботы для подстрижки овец, роботы - косилки
Транспортные	автоматизация управления различными транспортными средствами.	самоходные тележки, шагающие аппараты, автопилоты и авторулевые.

Строительные	автоматизация ручных операций как вспомогательных, так и основных, органически присущих строительному делу.	роботы-демонтажники, роботы-штукатуры
Бытовые	автоматизация операций, связанных с бытом человека и с богатой разнообразием сферой его обслуживания.	роботы-помощники, роботы-няни,  роботы-пылесосы, роботы-носильщики, роботы-игрушки, социальные роботы

**2. Исследовательские роботы.** Они служат для поиска, сбора, переработки и передачи информации об исследуемых объектах. К числу таких объектов относятся космическое пространство, поверхности планет, подводное пространство, подземные полости (шахты, пещеры и т. п.), Арктика и Антарктика, пустыни, зараженная местность и другие, труднодоступные для человека области. Примерами таких роботов являются беспилотные летательные аппараты, роботы-саперы, роботы-санитары, различные многоцелевые боевые машины и т.д.

Каждое последующее поколение роботов обладает большими возможностями и совершенством, но не исключает предыдущего; они взаимно дополняют друг друга и находят применение соответственно своим функциональным возможностям и условиям экономической целесообразности. К настоящему времени сформировалось три поколения роботов.

1. Роботы первого поколения (с программным управлением), применяют для: обслуживания станков, прессов, печей, сварочных установок и машин; выполнения основных технологических процессов (резки, сборки, сварки); погрузочно-разгрузочных и складских работ.
2. Роботы второго поколения отличаются от роботов первого наличием чувствительных устройств (осязание, телевизионное зрение), имеют более сложное управляющее устройство.
3. Роботы третьего поколения (интегральные роботы) в отличие от роботов второго поколения обрабатывают информацию, получаемую от органов чувств. Эти роботы применяют для работ, требующих распознавания образов (работа по чертежу), а также протекающих в сложных и изменяющихся условиях. [2]

Классификация роботов может так же производиться по другим признакам, необходимым для разработки типажа.

*По характеру выполнения технологических операций* роботы делятся на:

- технологические роботы – выполняют основные технологические операции. Они непосредственно участвуют в техпроцессе в качестве оборудования (гибка, сварка, окраска, сборка и т.д.);
- вспомогательные (подъемно-транспортные) выполняют функции переноса объекта в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Их применяют для обслуживания основного технологического оборудования;

- универсальные роботы – выполняющие разнообразные технологические операции – основные и вспомогательные.

*По степени специализации:*

- специальные – только для выполнения одной технологической операции или обслуживания конкретного технологического оборудования;
- специализированные – предназначены для выполнения технологических операций одного вида ;
- многоцелевые – для выполнения различных основных и вспомогательных операций и они относятся к числу универсальных.

*По системе основных координатных перемещений:*

- Прямоугольная: плоская; пространственная
- Полярная: плоская; цилиндрическая; сферическая

*По числу степеней подвижности:*

с одно, двумя и n- степенями подвижности.

*По грузоподъемности:*

- сверхлегкие – до 1 кг.;
- легкие – до 10 кг.;
- средние – до 200 кг.;
- тяжелые – до 1000 кг.;
- сверхтяжелые – свыше 1000 кг.

### **2.1.2 Результаты и выводы:**

Таким образом, мы видим, что существует множество разновидностей, а так же множество классификаций роботов. При проектировании робота, необходимо четко осознавать для каких целей он будет служить, какие действия будет выполнять. Резюмируя вышеизложенное, отметим, что современная робототехника представляет собой гармоничное сочетание роботов различных типов и поколений, которые возникли в связи с потребностями научно-технического прогресса.

## **2.2 Лабораторная работа № 3, 4 (4 часа).**

**Тема:** «Структура и устройство промышленных роботов»

### **2.2.1 Краткое описание проводимого занятия:**

Классификация промышленных роботов

Как известно, классификация производится по классификационным признакам. Таких признаков для ПР известно достаточно много, приведём основные из них. *По характеру выполняемых операций* ПР подразделяют на три группы: а) производственные, или технологические (ППР), – для основных операций



технологических процессов; б) подъемно-транспортные, или вспомогательные, выполняющие действия типа «взять – перенести – положить»; в) универсальные для различных операций – основных и вспомогательных. *По специализации* ПР подразделяют на специальные, выполняющие строго определенные технологические операции или обслуживающие конкретные модели технологического оборудования; специализированные, или целевые, предназначенные для выполнения технологических операций одного вида (сварки, сборки, окраски и т. п.) или для обслуживания определенной группы моделей технологического оборудования, объединенных общностью манипуляционных действий; универсальные, или многоцелевые, ориентированные на выполнение как основных, так и вспомогательных технологических операций различных видов и с различными группами моделей технологического оборудования.

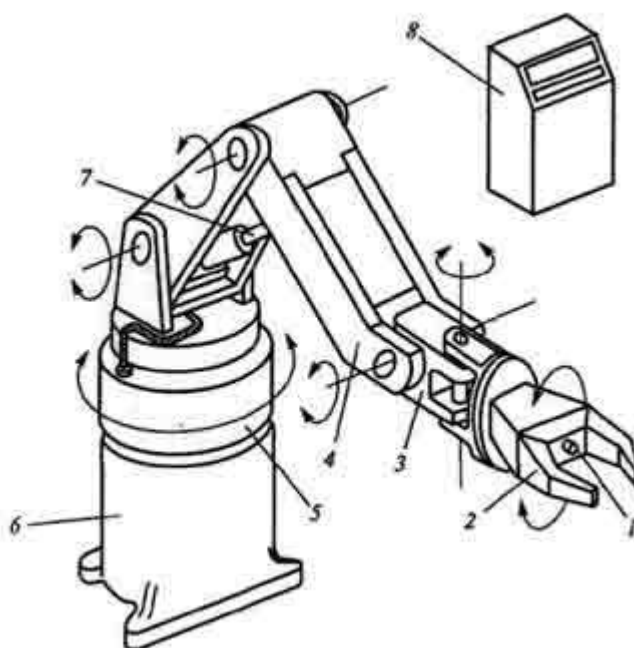
*Системы основных координатных перемещений.* По этому признаку ПР делятся на системы с прямоугольной, полярной и ангулярной системами координат. *По числу степеней подвижности.* ПР имеют от трех до шести и более степеней подвижности. Принципиально трёх степеней подвижности достаточно для вывода концевой точки манипулятора в любую точку обслуживаемого роботом пространства. Ещё три степени подвижности необходимы, чтобы в этой точке осуществлять любую угловую ориентацию захватного устройства или инструмента. Более шести степеней подвижности необходимо при обходе каких-либо препятствий. *Грузоподъёмность.* ПР делятся на сверхлёгкие (до 1 кг), лёгкие (до 10 кг), средние (до 200 кг), тяжёлые (до 1000 кг) и сверхтяжёлые (свыше 1000 кг). *Конструктивное исполнение.* ПР выполняют встроенными в оборудование, подвесными и напольными. *По типу систем управления* ПР делятся на три рода: программные, адаптивные и интеллектуальные (с элементами искусственного интеллекта). Все они обладают свойством быстрого перепрограммирования, причем у программных роботов перепрограммирование производится человеком, после чего робот действует автоматически. В адаптивные ПР основы программы действий робота закладываются человеком, но сам робот имеет свойство в определённых рамках автоматически перепрограммироваться в ходе технологического процесса в зависимости от обстановки. Интеллектуальным роботам задание на работу вводится человеком в более общей форме, а сам робот обладает возможностью принимать решения и планировать свои действия в неопределённой и меняющейся обстановке, чтобы выполнить заложенное в его память задание.

## Структура промышленных роботов

Как следует из определения, приведённого выше, ПР состоит из исполнительного устройства в виде манипулятора и устройства программного управления. Манипулятор ПР предназначен для выполнения двигательных функций при перемещении объектов в пространстве и представляет собой многосвязный механизм с разомкнутой кинематической цепью. Конструктивно манипулятор состоит из несущих конструкций, исполнительных механизмов, захватного устройства, привода с передаточными механизмами и устройства передвижения. Устройство управления ПР необходимо для формирования и выдачи управляющих воздействий манипулятору в соответствии с управляющей программой и конструктивно состоит из собственно системы управления, информационно-измерительной системы с устройствами обратной связи и системы связи. Несущие конструкции служат для размещения всех устройств и агрегатов ПР, а также для обеспечения необходимой прочности и жесткости манипулятора. Несущие конструкции выполняют в виде оснований, корпусов, стоек, рам, тележек, порталов и т. п. Исполнительный механизм – это совокупность подвижно соединённых звеньев манипулятора, предназначенных

для воздействия на объект манипулирования или обрабатываемую среду. Захватное устройство – конечный узел манипулятора, обеспечивающий захватывание и удержание в определённом положении объекта манипулирования. Привод предназначен для преобразования подводимой энергии в механическое движение звеньев исполнительного механизма в соответствии с сигналами, поступающими с устройства управления.

### 2.2.2 Результаты и выводы:



*Рис. 3.4. Конструкция промышленного робота:*

1 - датчик обратной связи; 2 — захватное устройство; 3 — кисть; 4 —рука манипулятора; 5 — колонна; 6 — несущая конструкция (основание); 7 - привод руки; 8 - блок управляющего устройства с пультом Устройство передвижения служит для перемещения манипулятора или ПР в целом в необходимое место рабочего пространства и конструктивно состоит из ходовой части и приводных устройств. Система управления необходима для непосредственного формирования и выдачи управляющих сигналов и состоит из пульта управления, запоминающего устройства, вычислительного устройства, блоков управления приводами манипулятора и технологическим оборудованием. Информационно-измерительная система предназначена для сбора и первичной обработки информации для системы управления ПР, включает в себя устройство обратной связи, устройство сравнения сигналов и датчики обратной связи. Систему связи используют для обеспечения обмена информацией между ПР и оператором или другими роботами и технологическими устройствами с целью формулировки заданий, контроля за функционированием систем ПР и технологического оборудования, диагностики неисправностей, регламентной проверки и т.п. На рис. 3.4 представлена одна из конструкций промышленного робота.

## **2.3 Лабораторная работа № 5 (2 часа).**

**Тема:** «Промышленные роботы и их классификация»

### **2.3.1 Краткое описание проводимого занятия:**

Требования безопасности к ПР, входящим в состав РТК (РТУ), - в соответствии с настоящим стандартом.

Требования безопасности к оборудованию, входящему в состав РТК (РТУ), - в соответствии с действующими стандартами на данный вид оборудования.

Общие требования к организации роботизированных технологических комплексов и участков

При организации РТК и РТУ необходимо предусмотреть комплексную механизацию и автоматизацию роботизированного производственного процесса, в том числе сопутствующих вспомогательных работ (транспортирование заготовок и деталей, загрузка ими накопителей, ориентация манипулируемых деталей в положение, пригодное для захвата, удаление стружки и окалины из рабочего пространства и т.д.), оставляя за оператором, в основном, функции управления и контроля за работой комплекса или участка.

РТК и РТУ с несколькими пультами управления должны быть оснащены блокировками, исключающими возможность одновременного управления одним и тем же оборудованием от различных пультов.

Каждый пульт управления должен иметь легкодоступный орган аварийного отключения с фиксацией в отключенном положении.

В случае применения в составе РТК и РТУ ПР зарубежных моделей необходимо цветовое оформление их составных частей привести в соответствие с требованиями ГОСТ 12.4.026, а символы органов управления - в соответствии с ГОСТ 12.4.040 .

Размещение технологического оборудования и ПР на РТК или РТУ должно обеспечивать свободный, удобный и безопасный доступ к ним обслуживающего персонала при программировании, обучении, наладке и ремонте.

Расстояние между неподвижными наиболее выступающими частями оборудования, установленного в РТК или РТУ, в местах, где возможен проход человека в процессе обслуживания или наладки, должно быть не менее 500 мм, между подвижными - не менее 750 мм. В противном случае необходимо исключить возможность прохода человека между этим оборудованием.

Планировку РТК и РТУ следует проводить с учетом геометрических характеристик рабочего пространства ПР, действующих норм технологического проектирования соответствующих производств и конструктивных особенностей ПР.

ПР должен устанавливаться таким образом, чтобы исключалась возможность столкновения ПР с другими подвижными элементами сопряженного оборудования.

Расстояние от рабочего пространства ПР до неподвижных предметов (например опоры здания, потолочные балки, перегородки) должно быть не менее 750 мм. Это условие не относится к сопряженному оборудованию (например устройства автоматической смены инструмента, тактовые столы, транспортное оборудование, обслуживаемые ПР станки).

Взаимное расположение ПР, основного и вспомогательного технологического оборудования в составе РТК и РТУ должно исключать возникновение опасности для персонала, осуществляющего ручную транспортировку, складирование объектов манипулирования (материалов, инструмента, деталей и т.д.). Периферийные устройства, которые обслуживаются вручную, должны быть расположены вне огражденного пространства ПР.

Для обслуживания ПР, элементы которого расположены на высоте более чем 1800 мм, необходимо предусмотреть дополнительные подставки или лестницы.

Установка ПР и его периферийных устройств не должна увеличивать пожароопасность помещения. Необходимо обеспечить свободный подход к оборудованию и возможность применения средств пожаротушения.

Система управления РТК и РТУ должна обеспечивать возможность отдельного включения в работу ПР и технологического оборудования для раздельного выполнения работ при наладке и техническом обслуживании.

#### **Ограждающие и защитные устройства**

Стационарные ограждения в сочетании с блокировочными устройствами или устройствами обнаружения должны исключать возможность случайного попадания человека в огражденное пространство РТК и РТУ при работе в автоматическом режиме.

При расчете размеров огражденного пространства должны быть предусмотрены необходимые расстояния между стационарными ограждениями и границами рабочего пространства ПР, технологическим оборудованием для удобного и безопасного выполнения операций программирования, обучения, ремонта и наладки ПР и оборудования комплекса или участка. При этом следует учитывать систему координат, тип и число ПР, а также антропометрические данные и рабочую позу оператора при выполнении операции по обслуживанию ПР и основного технологического оборудования.

Стационарные ограждения должны соответствовать следующим требованиям:

- иметь прочность, обеспечивающую защиту лиц и обслуживающего персонала при их случайном воздействии на ограждения или при выбросе объектов манипулирования, и соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.062;
- обеспечивать проход человека в огражденное пространство только через места, оборудованные блокировочными устройствами.
- должны быть надежно закреплены на месте установки, снятие или перемещение их должно быть невозможно без применения специального инструмента;
- не затруднять обслуживающему персоналу визуальный контроль за работой технологического оборудования комплекса;
- иметь сигнальную окраску и знаки безопасности по ГОСТ 12.4.026.

В дополнение к ограждающим защитным устройствам допускается устанавливать в огражденном пространстве средства предупредительной сигнализации.

В случае перемещения ПР объектов манипулирования над проходами, проездами и рабочими местами необходимо устанавливать под зоной движения исполнительных устройств ПР защитные сетки или другие устройства, исключающие травмирование человека при случайном падении объекта манипулирования.

При выполнении операций обслуживания ПР на режимах с пониженной скоростью движения должна быть предусмотрена возможность выключения блокировочных устройств и устройств сопряжения. Выключение должно осуществляться с применением специального инструмента.

Система управления роботизированным технологическим комплексом должна обеспечивать автоматическую смену заготовок при условиях:

- надежной фиксации заготовки в захватном устройстве ПР и готовности зажимного устройства технологического оборудования к приему заготовки;
- окончания зажима заготовки в зажимном устройстве технологического оборудования и разжима захватного устройства ПР;
- окончания обработки заготовки, надежной фиксации заготовки захватным устройством ПР и разжима зажимного устройства технологического оборудования.

#### **Организация рабочих мест**

Пульт управления РТК и РТУ, как правило, должен быть размещен за пределами огражденного пространства. При этом оператору должна быть обеспечена возможность обзора зоны обработки огражденного пространства ПР и пространства за его пределами по ГОСТ 22269 .

Если пульт управления установлен в пределах огражденного пространства, то его расположение должно исключать возможность воздействия на оператора опасных производственных факторов. В этом случае входная дверь стационарного ограждения должна быть оборудована цифровым (кодовым) замком, а устройства обнаружения должны быть установлены по границам огражденного пространства ПР. Должна быть исключена возможность включения оператором автоматического режима работы комплекса или участка при отключении устройства обнаружения.

Освещенность пульта управления должна быть не менее 400 лк. Яркость светящихся элементов и символов на панели пульта управления должна обеспечивать их правильное восприятие и исключать ослепление оператора.

РТУ большой протяженности (более 10 м) должны быть оснащены дополнительными органами аварийного отключения, расположенными на расстоянии не более 4 м друг от друга.

При размещении пультов управления РТК или РТУ в закрытых кабинах минимальные внутренние размеры кабины должны быть:

высота - 2100 мм,

ширина - 1700 мм,

длина - 2000 мм.

Ширина дверного проема - 600 мм.

Кабины должны быть оснащены приточной вентиляцией. Предпочтительным является оборудование кабин системой кондиционирования воздуха. Температура, относительная влажность, скорость движения воздуха и содержание вредных веществ в воздухе кабин и методы испытаний - по ГОСТ 12.1.005. Интенсивность лучистого потока через смотровые окна должна быть не более 1260 кДж/м<sup>2</sup>. Уровни звука в кабине - по ГОСТ 12.1.003.

При использовании ПР для выполнения работ, связанных с повышенной пыленностью и загазованностью, повышенным уровнем ионизирующего излучения и т.д., должна применяться закрытая камера, вход в которую должен быть заблокирован с системой управления. Камера должна быть оборудована смотровым окном. Пульт управления ПР должен быть размещен за пределами камеры рядом со смотровым окном.

В производственных помещениях, где используются подвижные ПР, необходимо обозначить транспортные пути сплошными линиями шириной 50 - 100 мм, наносимыми на поверхность пола желтой краской, стойкой к истиранию. Ширина этих путей должна быть равна максимальной ширине ПР плюс 200 мм при движении в одном направлении (по 100 мм с обеих сторон) и 300 мм - при встречном движении (по 100 мм с обеих сторон и 100 мм между транспортными средствами).

Разметка путей в зоне разворота (поворота) ПР зависит от вида ПР и определяется экспериментально.

Запрещается одновременное использование транспортных путей подвижными ПР и обслуживающим персоналом.

В зоне размещения РТК или РТУ освещенность оборудования должна быть не менее 300 лк.

Для общего освещения помещения отношение максимальной освещенности к минимальной не должно превышать 1,5. Коэффициент пульсации должен быть не более 20 %.

При постоянном наблюдении за ходом производственного процесса на РТК или РТУ, а также при ремонтных работах освещенность в рабочем пространстве оборудования должна составлять 1500 лк при комбинированном освещении (общее плюс местное).

При периодическом наблюдении за ходом производственного процесса освещенность может быть снижена до 750 лк при использовании светильников местного освещения, оборудованных светорегуляторами.

РТК и РТУ должны быть оснащены блокирующими устройствами, обеспечивающими выключение комплекса или участка либо отдельных их частей в случае нарушения

роботизированного процесса, отказа оборудования, выхода параметров энергоносителей за допустимые пределы.

Вход в зону ограждения должен быть заблокирован с системой управления.

Блокировочные устройства должны обеспечивать остановку движения ПР при входе человека в эту зону.

В технически обоснованных случаях допускается использовать входную дверь, оборудованную цифровым замком.

На двери должен быть установлен знак «Вход воспрещен» по ГОСТ 12.4.026.