

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.10 Робототехника**

**Направление подготовки (специальность) 27.03.04 Управление в технических системах**

**Профиль подготовки (специализация)** Интеллектуальные системы обработки информации и управления

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Форма обучения:** очная

## Содержание

1.	Конспект лекций .....	3
	Лекция № 1 (2 часа).....	3
	Лекция № 2 (2 часа).....	8
1.	3 Лекция №3 ( 2 часа).....	13
1.	4 Лекция № 4 ( 2 часа).....	19
1.	5 Лекция № 5 ( 2 часа).....	26
1.	6 Лекция № 6 ( 2 часа).....	30
1.	7 Лекция № 7 ( 2 часа).....	32
1.	8 Лекция № 8 ( 2 часа).....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.	МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.....	38
2.1	Практическое занятие №1( 2 часа).....	38
2.2	Практическое занятие №2 ( 2 часа).....	40
2.3	Практическое занятие №3 ( 2 часа).....	43
2.4	Практическое занятие №4 (2 часа).....	46
2.5	Практическое занятие № 5 ( 2 часа).....	50
2.6	Практическое занятие № 6 ( 2 часа).....	53
2.7	Практическое занятие № 7 ( 2 часа).....	54
2.	Методические указания по выполнению практических занятий .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

# 1. Конспект лекций

## Лекция № 1 (1 час)

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, крякать, 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 сигн- налом. 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 привела к необходимости механизации счета. С этой целью были созданы китайские и отечественные счеты. Около 1300 г. каталонский философ Р.Лулль 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, газеты 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 рефлекторных 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 лансиннд» 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 временем 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 РР 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, очувствления 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?

**Лекция № 2 (1 час)**

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

**1.1.3 Вопросы лекции:**

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

**1.1.4 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, оснащенное 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 основе 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 звенями. 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 со-ответствующее 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 расположению 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 неопределенность. Число избыточных локальных связей в реальной конструкции пары называется степенью статической неопределенности 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 изготавления, 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 - возможность передачи 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 не-замкнутую 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 определяется по формуле  $\Sigma = -5 + 6i + kP$  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  $n = 6*5 - 5*5 = 5$ . 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. Компоновка манипулятора зависит от выбранной системы координат его функционирования. С этой точки зрения различают манипуляторы, работающие в декартовой, цилиндрической, сферической и ангулярной (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 ( $B=0$ ), 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 обслуживающим технологическим оборудованием, либо монтируются на направляющих каретках под ним. В том случае, когда  $P=2$ ,  $B=1$ ,

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, φ 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 коор- динат  $R,\theta,\varphi$  является сферической. Это наиболее универсальная система координат (рис. 2.10). Она обеспечивает обслуживание большего объема рабочей зоны, чем при прямоугольной и ци- линдрической 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 полез- ную 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 де- картовой 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, количе- ство и распределение кинематических пар. Положение кинематической цепи в пространстве опре- деляется с помощью обобщенных координат  $q_i$  ( $i = 1,2,\dots,n$ ), которые характеризуют относитель- ные 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):  $x_p = r * \cos\varphi$ ,  $y_p = r * \sin\varphi$ ,  $z_p = z$ ; Для второго случая (рис. 2.12, б):  $x_p = r * \cos\varphi_1 * \cos\varphi_2$ ,  $y_p = r * \sin\varphi_1 * \cos\varphi_2$ ,  $z_p = 1 + r * \sin\varphi_2$ ; Для третьего случая (рис. 2.12. в):  $x_p = l_2 * \cos\varphi_1 * \cos\varphi_2 + l_3 * \cos\varphi_1 * \cos(\varphi_2 + \varphi_1)$ ,  $y_p = l_2 * \sin\varphi_1 * \cos\varphi_2 + l_3 * \sin\varphi_1 * \cos(\varphi_2 + \varphi_1)$ ,  $z_p = 11 + l_2 * \sin\varphi_2 + l_3 * \sin(\varphi_2 + \varphi_1)$ . Эти соотношения и служат основой для кинематических исследований манипуляторов про- мышленных 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 положе- ний, 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:  $r = (\sqrt{x^2 + y^2})^{1/2}; \varphi = \arctg(y/x); z = z_p$ ; (первая модель)  $r = [\sqrt{x^2 + y^2} + (z_p - l)^2]^{1/2}; \varphi_1 = \arctg(y/x); \varphi_2 = \arctg[(z_p - l)/(\sqrt{x^2 + y^2})]$  (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?

## **1. 3 Лекция № 3 (1 час).**

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

### **1.3.1 Вопросы лекции:**

1. Технические требования и параметры ПР.
2. Структуры промышленных роботов.
3. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа.

### **1.3.2. Краткое содержание вопросов:**

Промышленные роботы и их классификация ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ (ПР) - робот предназначенный для выполнения технологических и (или) вспомогательных операций в промышленности. В ГОСТе 25686 - 85 «Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Термины и определения» дается следующее определение промышленного робота. ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ (ПР) - автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций. Одним из основных классификационных признаков, определяющих структуру, состав, внешний вид, эксплуатационные характеристики современных роботов, является область их использования. Классификация по этому признаку приведена на рис. 3.1. Рис.3.1. Классификация промышленных роботов. Промышленные роботы классифицируют: 1. По характеру выполняемых операций: технологические (производственные) - выполняют основные операции технологического процесса (гибка, сварка, сборка, окраска и т.д.); вспомогательные (подъемно - транспортные) - применяют при обслуживании основного технологического оборудования для автоматизации вспомогательных операций (установки - снятия заготовок, деталей и инструмента, а также на транспортно - складских операциях); универсальные - выполняют различные операции

и в том числе работы совместно с различными видами оборудования. 2. По степени специализации: специальные - выполняют определенную технологическую операцию или обслуживают конкретную модель основного технологического оборудования; специализированные (целевые) - выполняют технологические операции одного вида (сборка, сварка и т.д.) или обслуживают широкую номенклатуру моделей основного технологического оборудования, объединенных общностью манипуляционных действий; многоцелевые - выполняют различные основные и вспомогательные операции. 3. По области применения и виду производства: литьевые, штамповочные, сварочные, механической обработки, термообработки, нанесения покрытий, сборочные, автоматического контроля, лазерной обработки, транспортно-складские и прочие. 4. По виду систем координат, в которых они работают: прямоугольная (плоская и пространственная); полярная (плоская, цилиндрическая и сферическая); ангулярная или угловая (плоская, цилиндрическая и сферическая). 5. По числу степеней подвижности: с одной, двумя, тремя, четырьмя степенями подвижности и со степенями подвижности более четырех. 6. По грузоподъемности: сверхлегкие - грузоподъемность до 1 кг; легкие - свыше 1 до 10 кг; средние - свыше 10 до 200 кг; тяжелые - свыше 200 до 1000 кг; сверхтяжелые - свыше 1000 кг. 7. По мобильности (подвижности): стационарные и подвижные. 8. По способу установки на рабочем месте: встроенные в оборудование, напольные, подвесные. 9. По типу силового привода: электромеханические, пневматические, гидравлические, комбинированные. 10. По месту расположения приводов: в едином блоке, на подвижных звеньях, комбинированная компоновка. 11. По количеству манипуляторов: с одним, двумя, тремя и четырьмя манипуляторами. 12. По исполнению: нормального, пылезащитного, теплозащитного, влагозащитного, взрывобезопасного и т.д. исполнения. 13. По быстродействию: малое - линейные скорости по отдельным степеням подвижности до 0,5 м/с; среднее - линейные скорости свыше 0,5 до 1 м/с; высокое - линейные скорости свыше 1 м/с; 14. По точности позиционирования: малая - погрешность позиционирования до 1 мм и выше; средняя - погрешность позиционирования от 0,1 до 1 мм; высокая - погрешность позиционирования менее 0,1 мм. 15. По характеру отработки программы: жесткопрограммируемые - программа действий содержит полный набор информации не изменяющейся в процессе работы; адаптивные - осуществляют свои действия с использованием информации об объектах и явлениях внешней среды, полученной в процессе работы. Имеют сенсорное обеспечение, позволяющее корректировать управляющую программу; гибкопрограммируемые - способны формировать программу своих действий на основе поставленной цели и информации об объектах и явлениях внешней среды. 16. По характеру программирования: позиционные - движение осуществляется от точки к точке; контурные - движение осуществляется по непрерывной траектории; комбинированные. 17. По дискретности перемещения: многоточечные, малоточечные. Технические требования и параметры ПР. Номинальная грузоподъемность тн (кг) представляет собой наибольшую массу объекта манипулирования вместе со схватом, которая гарантирует захватывание и удержание объекта и обеспечивает установленные эксплуатационные характеристики робота. Кроме того, для ПР, работающих в угловой системе координат необходимо указывать номинальный момент нагрузки  $T_i$  для соответствующей степени подвижности относительно оси ее перемещения. Это связано с тем, что для рассчитанной грузоподъемности длина схвата потребителем может быть увеличена, что без дополнительных ограничений может привести к выходу из строя соответствующего привода. В некоторых случаях в технической характеристике указывают кроме номинальной грузоподъемности и момента нагрузки максимальные их значения при уменьшенных динамических параметрах (ускорении, скорости). Это связано с тем, что при одном и том же моменте привода, уменьшая ускорения, и следовательно, инерционную нагрузку, можно перемещать большую массу. В этом случае указывают максимальную грузоподъемность для скорости, равной половине максимальной. Число

степеней подвижности робота  $n$ , под которым подразумевается число степеней свободы рабочего органа относительно звена, принятого за неподвижное, без учета движения губок схватов. Диапазоны перемещений по степеням подвижности:  $S_i$  (мм),  $\varphi_i$  (рад). Скорости перемещения по степеням подвижности: максимальные скорости  $V_{max}$  (м/с),  $\omega_{max}$  (1/с). Средняя (цикловая) скорость характеризует производительность робота и равна значению перемещения, деленному на время движения между позициями. Максимальное ускорение по степеням подвижности:  $a_{max}$  (м/с<sup>2</sup>),  $\epsilon_{max}$  (град/с<sup>2</sup>). Погрешность позиционирования рабочего органа  $\Delta$  (мм) – отклонение фактического положения схвата от заданного программой. Различают роботы с малой точностью позиционирования ( $\Delta > \pm 1$  мм), способные выполнять транспортные и некоторые основные технологические операции (окраску), не требующие высокой точности; роботы со средней точностью позиционирования ( $0,1 \leq \Delta \leq 1$  мм), которые находят самое широкое применение; роботы с высокой точностью позиционирования ( $\Delta \leq 0,1$  мм), применяемые для прецизионной сборки. Кинематическая структура манипулятора определяет число звеньев и тип кинематических пар их соединения. Рабочая зона робота – пространство, в котором может находиться его рабочий орган. Объем рабочей зоны  $V_{rz}$  (м<sup>3</sup>) – объем, заключенный внутри границ рабочей зоны. Тип системы координат определяется сочетанием кинематических пар. Тип системы программного управления (СПУ) определяется способом позиционирования (цикловой, позиционный, контурный) и типом применяемых аппаратных средств. Объем памяти СПУ представляет собой число кадров программы. Под кадром понимают минимальный элемент программы, состоящий из определенной группы команд и адресов, по которым выполняются команды и обеспечивается проверка их выполнения. В цикловой СПУ в состав кадра входят команды на перемещение степеней подвижности робота, управления технологическим оборудованием и вспомогательные команды. В позиционную систему СПУ дополнительно входят данные о положении и скорости перемещений степеней подвижности манипулятора, точности позиционирования объекта манипулирования. Цикловые СПУ характеризуются малым объемом памяти (до 100 кадров). Средним объемом памяти (от 1200 до 800 кадров) характеризуются позиционные СПУ и большим (свыше 800 кадров) – контурные СПУ. Габаритные размеры  $L$ ,  $B$ ,  $H$  (м). Масса робота, манипулятора, СПУ соответственно  $m_r$ ,  $m_{SPU}$  (кг). Средняя наработка на отказ  $t_r$  (час) – показатель ремонтопригодности, равный среднему значению времени, затраченному на отыскание и устранение одного устойчивого отказа при работе робота. В перспективе следует закладывать конструктивные решения, обеспечивающие среднее время восстановления не более 4,0 ч при средних наработках на отказ  $t_r \geq 1000$  ч и 8,0 ч при средних наработках на отказ  $t_r \geq 3000$  ч. Средний срок сохраняемости  $t_{coxp}$  (ч) – показатель, равный среднему значению календарной продолжительности хранения робота. Средний ресурс  $t_p$  (ч) – показатель долговечности; рассчитывается как среднее значение времени использования до принятого предельного состояния (капитального ремонта, списания). Чаще всего значение среднего ресурса устанавливается до капитального ремонта. Ресурс большинства отечественных роботов составляет 8000...9000 ч, иногда 10000 ч. Выпускаемые в настоящее время промышленные роботы можно классифицировать по ряду признаков с учетом целевого назначения и функциональных возможностей, грузоподъемности, типа систем управления, типа компоновочных схем, конструктивного исполнения (модификации). Рекомендуемые элементы классификации и кодирования ПР приведены в таблице 3.1. Таблица 3.1 Позиция в коде Классификационный признак Рекомендуемые обозначения 1 Целевое назначение и функциональные возможности Г, Л, К, С, У 2 Вид оборудования М 3 Грузоподъемность, кг 1;2,5; 5; 10; 20; 40; 80; 160; 250; 500. 4 Тип системы Ц, Ф2, Ф3, Ф4 5 Компоновочная схема 00-99 6 Конструктивное исполнение (модификация) 00-99 На первом месте в модели ПР указывается значение классификационного признака по целевому назначению и функциональным возможностям. По этому признаку приняты следующие обозначения: Г – для

обслуживания в гальваническом производстве; К – для обслуживания кузнечно-прессового оборудования; Л – для обслуживания литейных машин; С – для обслуживания металлорежущих станков; У – универсальные. Второе место в общем коде модели отводится обозначению типа оборудования. В данном случае буква М означает «Манипулятор автоматический с программным управлением». Третье место в коде характеризует грузоподъемность робота. На четвертом месте кода приводится тип системы управления ПР. Рекомендованы следующие обозначения: Ц – цикловое ПУ; Ф2 – позиционное ЧПУ; Ф3 – контурное ЧПУ; Ф4 – универсальное ЧПУ.. На пятом месте приводится компоновочная схема. Принято классифицировать компоновки механической системы ПР в зависимости от применяемой системы координат основных перемещений. Шестое место характеризует конструктивное исполнение (модификацию) робота. В соответствии с приведенной классификацией обозначение робота модели СМ80Ц.48.11 можно расшифровать следующим образом: СМ – автоматический манипулятор для обслуживания металлорежущих станков; 80 – грузоподъемность, кг; Ц – цикловое программное управление; 48 – индекс схемы компоновки( в данном случае он указывает, что робот работает в полярной системе координат); 11 – конструктивное исполнение. По типу системы управления промышленные роботы делятся на три поколения: программные, адаптивные и интеллектные (с элементами искусственного интеллекта). В роботах первого поколения перепрограммирование производится человеком, после чего промышленный робот действует автоматически, многократно повторяя жестко заданную программу. Во втором поколении программы действия промышленного робота задаются человеком, но сам робот имеет свойство в определенных рамках перепрограммироваться (адаптироваться) в ходе технологического процесса в зависимости от обстановки, которая неточно определена заранее. В третьем поколении задание на работу вводится человеком в более общей форме, а сам промышленный робот имеет возможность принимать решение и планировать свои действия в распознаваемых им неопределенной или меняющейся обстановке, чтобы суметь выполнить заложенное в его память задание. Роботы трех поколений образуют иерархию, основанием которой служат простейшие роботы-автоматы, а вершиной — сложные, эволюционирующие интеллектные роботы. Подобно живым организмам роботы не только развиваются по пути от простого к сложному, не только прошли в своем развитии несколько поколений, но и образовали симбиоз этих поколений, поскольку создание высших поколений роботов не отрицает необходимость в совершенствовании и использовании роботов низших поколений. Структура робота 1-го поколения приведена на рис. 3.2. Из сенсорных элементов в этой структуре используются лишь датчики внутренней информации, позволяющие автоматически определять текущее состояние исполнительных устройств. Управление осуществляется управляющим автоматом, который может быть реализован на основе микропроцессорных контроллеров. Программу работы робота задает человек-оператор, и в процессе функционирования робота эта программа не меняется. Рис.3.2. Структура робота первого поколения. Роботы второго поколения более сложны. Они очувствлены и имеют систему управления, содержащую те элементы искусственного интеллекта, которые необходимы для обработки сенсорной информации и формирования на ее основе управляющих воздействий. Структура робота 2-го поколения показана на рис. 3.3. В этой структуре наряду с датчиками внутренней информации используются датчики внешней информации, позволяющие роботу адекватно реагировать на изменения внешней среды при исполнении заранее заданной программы. Причем в зависимости от состояния датчиков, робот может автоматически выбирать альтернативные ветви основной программы. Рис.3.3. Структура робота второго поколения Роботы третьего поколения имеют наиболее развитую структуру, содержащую систему ИИ (рис.3. 4). Рис.3.4. Структура робота третьего поколения. Принципиальное отличие интеллектного робота заключается в том, что он способен автоматически строить модель внешней среды и использовать эту модель для формирования программы своего поведения. Иными

словами, такой робот, как и мифический треножник Гефеста, получает указания весьма общего характера, например: пойти туда-то, взять то-то, перенести туда-то и т. п. Получив подобное задание на естественном языке и расшифровав его в подсистема общения, интеллектный робот самостоятельно планирует траекторию перемещения с учетом имеющихся знаний о внешней среде и тех сведений, которые он оперативно получает через сенсорную систему в процессе выполнения задания. Если при этом встречаются непреодолимые препятствия или другие затруднительные ситуации, система ИИ непосредственно или через систему связи, показанную на рис.3.5, связывается с человеком-оператором, задает ему конкретные вопросы и, получив помощь, снова действует автономно.. Очевидно, что для реализации разумного поведения в состав робота наряду с сенсорной, управляющей и эффекторной системами должна входить система, имитирующая интеллект человека. Искусственный интеллект необходим для управления роботом при его автономном функционировании в априори неисследованной внешней среде. Необходим он также и для общения на естественном языке с человеком-оператором, который в общем случае находится на значительном удалении от робота. С учетом отмеченного обстоятельства структуру робота можно представить в виде схемы, показанной на рис. 3.5. Рис. 3.5. Подробная структура робота третьего поколения. Эта схема построена в предположении, что управление роботом осуществляется по иерархическому принципу, в соответствии с которым система управления (СУ) реализует тактический уровень, а система искусственного интеллекта (СИИ) воспроизводит стратегический уровень управления. Причем, используя биологическую терминологию, можно считать, что СУ служит аналогом спинного мозга, а СИИ — техническим аналогом высших отделов головного мозга. Система управления робота может быть выполнена в виде специализированного автомата с памятью либо реализована программным способом на основе универсальной ЭВМ. То же самое можно сказать и о системе,нскогоенного интеллекта. Система связи включает проводной или беспроводной канал передачи информации и на приемном конце также предполагает использование ЭВМ. На экране дисплея этой ЭВМ отображаются ситуации, попадающие в поле зрения робота либо непосредственно, либо в виде модели, которую робот синтезирует автоматически. Наиболее сложной и мало разработанной системой в структуре робота является система искусственного интеллекта (ИИ). Сложность создания системы ИИ связана с тем, что до конца не ясно, как устроен и как функционирует интеллект естественный. Попытки обойти эту проблему привели к разработке роботов, у которых система ИИ отсутствует полностью. Это так называемые роботы первого поколения, предназначенные для работы в исследованной и специально организованной внешней среде. Они лишены не только интеллекта, но и сенсорики. Образно говоря, такие роботы имитируют поведение глухих, слепых и неразумных животных. Разделение роботов на поколения является общепринятой и важной структурной особенностью робототехники. Однако такое разделение не исчерпывает всех классификационных признаков современных роботов. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа. Агрегатно-модульный принцип предполагает создание ПР на базе унифицированных узлов, или модулей. Этот метод имеет следующие преимущества: возможность построения специальных и специализированных роботов для конкретной технологической операции, не обладающих избыточностью функций и поэтому более дешевых по сравнению с универсальными роботами; сокращение времени и трудоемкости проектирования специальных роботов, т.к. они создаются на базе унифицированных узлов, номенклатура которых может пополняться повышение надежности вследствие отработанности входящих в него унифицированных узлов и отсутствия избыточности; удешевление производства роботов вследствие ограниченной номенклатуры деталей и узлов и, следовательно, повышение серийности выпуска Улучшение условий эксплуатации и ремонта роботов, вследствие уменьшения разнообразия конструкций узлов и деталей; сокращение сроков подготовки обслуживающего персонала. Вместе с тем агрегатно-модульный принцип имеет

определенные недостатки: отказ в некоторых случаях от более выгодных конструктивных решений в пользу менее выгодных, но соответствующих принципу агрегатного построения; увеличение габаритов и массы конструкции; увеличение числа стыков, что повышает трудоемкость сборки роботов, снижает жесткость и точность. Существуют различные формы реализации принципа агрегатного построения роботов из унифицированных узлов, выполняющих определенные функции. Можно выделить следующие основные принципы классификации при построении групп роботов: вид системы координат, способ установки робота в РТК, специализация, число степеней подвижности, грузоподъемность, тип системы управления. По специализации и компоновке агрегатно-модульные роботы могут быть условно разделены на две группы: агрегатирование на базе одной принципиальной компоновочной схемы (однотипные роботы); конкретные исполнения роботов различаются размерами и грузоподъемностью, а также характером комплектаций (системами управления, дополнительными модулями и т.п.); агрегатирование, дающее возможность получать несколько различных компоновочных схем (разнотипные роботы), в том числе отличающиеся видом системы координат, формой и размерами рабочих зон и другими признаками. По характеру технических показателей агрегатно-модульные роботы могут быть разделены на три группы: с неизменными значениями основных технических показателей, с ограниченным диапазоном и с широким диапазоном основных технических показателей. По типу системы управления различают роботы, комплектуемые системами управления одного типа, различных типов. Унифицированный узел робота – сборочная единица ПР с унифицированными присоединительными размерами и параметрами внешнего сопряжения. Агрегат ПР – совокупность деталей и узлов, образующих механизм, предназначенный для выполнения движений по одной степени подвижности, реализуемых с помощью присоединяемого к нему привода, с унифицированными местами крепления, в том числе крепления приводов. В некоторых случаях агрегат может включать в себя редуктор, передаточный механизм или его часть. Разновидностью агрегатно-модульного принципа построения роботов является модульный принцип. В этом случае роботы проектируют на базе функциональных модулей, включающих все необходимые механизмы, приводы, датчики обратной связи, энергетические и информационные коммуникации, необходимые для работы модуля. Исполнительный модуль – реализует движение робота по одной степени подвижности, включает в себя агрегат, двигатель, редуктор, датчики обратной связи, унифицированные присоединительные размеры и параметры внешнего сопряжения с цепями энергопитания и управления. Модуль-привод преобразует команды, поступающие от устройства управления, в необходимые усилия или крутящий момент. Включает в себя двигатель, редуктор, датчики обратной связи и устройство управления приводом, обеспечивающие требуемые движения звеньев механизмов. Модуль устройства управления – сборочная единица с унифицированными присоединительными размерами, подключаемая в общую схему через унифицированные интерфейсы и выполняющая какие-либо заданные функции (например, процессор, группа плат сопряжения с каналом внешней информации). В последние годы в робототехнике начинают применять мехатронные модули движения и интеллектуальные мехатронные модули. Мехатронный модуль движения (ММД) – конструктивно и функционально самостоятельное изделие, включающее в себя управляемый двигатель, механическое и информационное устройство. В состав ММД входит встроенное информационное устройство, включающее датчики обратной связи и информации, а также электронные блоки для обработки и преобразования сигналов. Интеллектуальный мехатронный модуль (ИММ) – конструктивно и функционально самостоятельное изделие, построенное путем синергетической интеграции двигательной механической, информационной, электрической и управляющей частей. По сравнению с ММД в конструкцию ИММ дополнительно встраиваются управляющие и электронные устройства: цифровые

вычислительные устройства, электронные силовые преобразователи, компьютерные устройства сопряжения и связи.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:**

1. По каким признакам классифицируются промышленные роботы?
2. По каким параметрам выбираются модели промышленных роботов?
3. Какие поколения роботов Вы знаете?
4. В чем сущность агрегатно-модульного построения промышленных роботов?
5. Как расшифровать модель робота СМ40Ц1216?
6. Из каких модулей комплектуются роботы?

## **1. 4 Лекция № 4 ( 1 час).**

**Тема: «Системы программного управления промышленных роботов.»**

### **1.4.1 Вопросы лекции:**

1. Основные принципы управления, реализуемые в приводах роботов.
  2. Системы программного управления промышленных роботов.
  3. Позиционные системы управления роботами.
- .....

### **1.4.2 Краткое содержание вопросов:**

Системы программного управления промышленных роботов. Основные принципы управления, реализуемые в приводах роботов Термином управление в технике обычно обозначают процесс автоматической реализации совокупности воздействий, прилагаемых к некоторому объекту, либо с целью поддержания его функционирования на заданном уровне, либо с целью изменения в желаемом направлении его регулируемых параметров. Робот как объект управления представляет собой сложную систему, включающую в себя многозвенную механическую конструкцию с исполнительными пневмо-, гидро- или электроприводами, активно взаимодействующую с окружающей средой и характеризующуюся совокупностью параметров, изменяющихся во времени. Выделяют три иерархических уровня автоматизации роботизированного оборудования: - согласованное управление роботом и единицей промышленного оборудования, при котором команды управления роботом подает обслуживаемая им технологическая машина; - управление роботом и несколькими единицами технологического оборудования, при котором поведение робота определяется запросами от обслуживаемых им машин; - управление распределенными роботами, единицами оборудования, складами, транспортными средствами от центральной ЭВМ с целью выполнения поступающих заказов. Как и любое другое, устройство управления принимает сигналы от датчиков и центральной ЭВМ, после чего вырабатывает команды на исполнительные устройства в соответствии с записанной программой управления. Устройство управления роботом должно дополнительно: - регулировать положение и скорости перемещения приводов звеньев; - учитывать состояние обслуживаемых единиц оборудования; Обычно в системах управления используются три основных принципа: разомкнутого управления, управления по возмущению и принцип обратной связи. Принцип разомкнутого управления реализуется только на основе желаемого алгоритма поведения управляемого объекта и не учитывает возможность появления внешних возмущающих воздействий, способных вызвать неконтролируемые отклонения в процессе функционирования объекта. Например, скорость вращения выходного вала электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением пропорциональна напряжению, приложенному к якорю (рис. 5.1). Рис. 5.1. Схема разомкнутого управления. Подавая на двигатель напряжение желаемой величины, управляют скоростью вращения его выходного вала и, как следствие, скоростью перемещения звена робота, соединенного с этим двигателем. Однако, если на данное звено действуют внешние силы, например, статический момент силы тяжести звена,

изменяющийся по величине в зависимости от углового положения степени подвижности, то скорость вращения электродвигателя будет существенно отличаться от заданной и, кроме того, будет изменяться в функции от угла поворота звена робота. Принцип управления по возмущению может использоваться в системах разомкнутого типа, находящихся под влиянием некоторых возмущающих воздействий (рис. 5.2.), для того чтобы компенсировать отклонение регулируемого параметра, вызванного доминирующим воздействием. Рис. 5.2. Схема управления по возмущению. При управлении по возмущению удается компенсировать нежелательное влияние на процесс регулирования только того воздействия, которое измеряется датчиком, а остальные воздействия по-прежнему могут вызывать неконтролируемые отклонения. Отличительным признаком систем управления, в которых реализован принцип обратной связи, является измерение регулируемого параметра и использование полученной информации при формировании закона управления (рис. 5.3.). Системы управления, замкнутые по регулируемой координате, имеют лучшие характеристики по сравнению с системами, созданными на основе принципа управления по возмущению, так как независимо от причины, вызвавшей отклонение данной координаты от заданного значения, величина и знак отклонения могут быть оценены и на их основе могут быть осуществлены корректирующие воздействия, повышающие степень совпадения текущего и требуемого поведения объекта. Рис. 5.3. Схема управления с обратной связью. В замкнутых системах автоматического регулирования применяют различные законы управления. Законом управления обычно называют математическую зависимость, в соответствии с которой регулятор формирует воздействие на объект управления в предположении, что последний является безинерционным. Пусть  $x$  – управляемая выходная координата объекта,  $x_0$  – ее желаемое значение,  $U$  – управляющее воздействие, прикладываемое к объекту. Тогда в общем случае управляющее воздействие в системе с обратной связью можно представить в функции не только отклонения  $\Delta x = x_0 - x$ , но и в функции от его производных и интегралов по времени:  $\int \Delta \Delta = \Delta t x dt dt d x U f x 0 . ( , , \dots, \dots)$ . Простейшим является пропорциональный закон управления. При этом законе регулятор формирует воздействия на объект в следующем виде:  $U_n = k \Delta x$ , где  $\Delta x = x_0 - x$ , а  $k$  - коэффициент передачи. При пропорциональном законе управления выбором коэффициента передачи регулятора можно либо ускорять, либо замедлять переходный процесс, увеличивая или уменьшая соответственно его колебательный характер. Пропорционально-дифференциальный закон позволяет формировать управляющее воздействие не только в функции от отклонения выходной координаты от заданной  $U_n$ , но и в функции от скорости отклонения во времени  $U_d$ , т.е. в функции первой производной от ошибки положения:  $dt d x x U U U k x x k pid n d ( ) ( ) 0 0 - = + = - + +$  где  $k_n$  и  $k_d$  – коэффициенты передачи;  $d(x_0 - x)/dt$  – первая производная от отклонения  $\Delta x$ . Включение в закон управления компоненты, пропорциональной первой производной отклонения, позволяет эффективно ограничивать скорость движения выходной координаты к заданному положению. Однако точная отработка заданного положения в данной системе управления двигателем возможна лишь при отсутствии внешних возмущающих воздействий. Пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования является более совершенным с точки зрения компенсации внешних возмущений на точность отработки задания. Здесь вводится еще одна компонента –  $U_i$  – интегральная.  $( ) ( ) 0 0 0 \int 0 - = + + = - + - + t pid n i d n i d dt d x x U U U k x x dt k$  При проектировании конкретных робототехнических систем необходимо учитывать возможности робота по отработке заданного положения или желаемой траектории движения захватного устройства и требования, вытекающие из технологии выполнения той или иной производственной задачи. Например, если предполагается автоматизировать операцию загрузки-выгрузки пресса, то не обязательно оснащать робот замкнутой системой управления. Достаточно использовать принцип разомкнутого управления. Для автоматизации дуговой сварки необходимо управлять с высокой степенью точности не только положением электрода, но и его скоростью в

условиях значительных внешних воздействий, и, следовательно, робот, предназначенный для этой работы, должен иметь систему управления, реализующую самые совершенные принципы и законы управления положением и скоростью. Системы программного управления промышленных роботов подразделяются на системы: а) циклового, б) позиционного, в) контурного управления. Каждая из них имеет много разновидностей в зависимости от характера операций, кинематики робота, приводов. Цикловой режим программного управления является наиболее простым (рис. 5.4). Он применяется, как правило, в тех случаях, когда по каждой из  $n$  степеней подвижности  $q_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) робота возможно позиционирование лишь в двух крайних точках  $q_{in}$ ,  $q_{ik}$ , где соответствующие индексы  $H$ ,  $K$  означают начальное и конечное положения соответствующих подвижных элементов. Рис. 5.4. Робот с цикловой системой программного управления. Для перевода  $i$ -го звена в состояние  $q_{in}$  необходимо на его привод подать нулевой управляющий сигнал  $U_i = 0$ . Для перевода этого звена в состояние  $q_{ik}$  на тот же привод необходимо подать сигнал  $U_i = 1$ . Причем при переходе робота в новое состояние при неизменном управляющем векторе  $U = (U_1, \dots, U_n)$  данное состояние остается неизменным. При организации циклового управления роботом могут быть использованы довольно простые автоматы, построенные на элементах цифровой вычислительной техники. Такие автоматы включают: память последовательности кодов требуемых состояний робота, память последовательности временных интервалов, т.е. тех интервалов времени, в которых управляющие векторы остаются неизменными, временное устройство и блок управления переходами. Программируемые контроллеры (ПК) используются в системах управления в качестве одних из простых устройств, предназначенных для автоматизации производства. В промышленных роботах относительно несложно с помощью ПК организовывать цикл работы робота с цикловой системой управления, осуществлять с помощью индикации контроль за работой комплекса. Общая схема основных элементов ПК показана на рис. 5.5. Питание ПК осуществляется от обычной сети, хотя ПК может обеспечить питание схем управления большей мощности. Совместно с ПК применяется съемный модуль-программатор, который может быть переставлен с одного ПК на другой или отправлен на хранение. Интерфейсные устройства и устройства ввода-вывода данных, входящие в состав ПК, могут представлять собой дополнительные съемные модули. Некоторые производители оснащают ПК графическим дисплеем, на экране которого воспроизводится лестничная схема. Последовательное воспроизведение такой схемы осуществляется программистом. ПК широко применяется для управления промышленными роботами как в автономном режиме, так и в составе роботизированных комплексов. ПК представляют собой идеальное средство управления роботизированным производственным модулем. В этом случае в функцию ПК входит синхронизация координатных перемещений рабочих органов робота с обслуживаемым технологическим и вспомогательным оборудованием. Наиболее часто ПК используется для управления пневматическими роботами с цикловой системой управления. Основой для программирования ПК служит лестничная логическая схема. Основной задачей ПК является принятие логических решений типа да-нет. ПК непрерывно анализирует данные с датчиков, контролирующих технологический процесс, формирует логические решения и передает выходные данные в виде управляющих сигналов на органы управления тем же процессом. После ввода запрограммированной лестничной схемы работа ПК будет продолжаться до тех пор, пока не потребуется внесение изменений. Управление автоматизированным оборудованием с помощью ПК может осуществляться с обратной связью или во временном режиме. В состав ПК могут входить таймеры и счетчики. Большинство ПК располагают возможностью независимого включения сигнала на некотором выходе, несмотря на состояние запрограммированной логической схемы. Независимое управление выходами может быть также использовано для диагностирования и дает возможность пользователю избежать нежелательных последствий появления неисправностей. Преимуществами ПК являются также малые габариты, низкая энергоемкость, высокая надежность работы. К дополнительным

выходам ПК при необходимости могут быть подключены дисплеи, печатающие устройства. Рис. 5.5. Программируемый контроллер: 1 – программатор; 2 – центральный процессор; 3 – интерфейс; 4 – контакты входов- выходов; 5 – входы; 6 – от процессора; 7 – к технологическому оборудованию; 8 – выходы; 9 – аварийное батарейное питание; 10 – память; 11 – источники питания. Для построения подобных управляющих автоматов – контроллеров необходимы регистры, дешифраторы, счетчики, триггеры и т.п. Учитывая, что контроллеры ПР представляют собой автоматы с памятью, при их разработке могут быть использованы более крупные узлы ВТ, такие, как управляющая память и блоки микропрограммного управления современных микропроцессорных комплектов. Использование управляющей памяти ведет к упрощению структуры контроллеров, а применение блоков микропрограммного управления, хотя и усложняет их, но одновременно расширяет функциональные возможности. Для построения универсальных контроллеров целесообразно не только использовать отдельные узлы микропроцессорных комплектов, не только применять в структуре контроллеров микропроцессоры, но и сами контроллеры создавать на основе микропроцессоров и микроЭВМ. Структурная схема программируемого микроконтроллера, предназначенного для циклового управления промышленными роботами, показана на рис. 5.6. Рис. 5.6. Структурная схема программируемого микроконтроллера. Модуль процессора осуществляет сбор, цифровую обработку и вывод информации в соответствии с исполнительной программой, записанной в перепрограммируемое ПЗУ модуля памяти. Назначение исполнительной программы – преобразование инструкций, введенных оператором с помощью пульта управления, в последовательность кодов машинного языка микропроцессора, реализующих эти инструкции. Управляющая программа размещается в модуле запоминающих устройств. Она записывается пользователем в кодах команд входного языка микроконтроллера и обеспечивает выполнение заданного алгоритма управления внешним оборудованием. Для введения программы используют пульт управления, портативный программатор или персональный компьютер со специальным программным обеспечением. Усложнение программ управления привело к отказу от применения программаторов, а многообразие контроллеров с собственными языками программирования к появлению пяти стандартных языков программирования: языка лестничных диаграмм (LD), функционально-блочных диаграмм (FBD), списка инструкций (IL), диаграмм последовательных функций (SFC), структурированного текста (ST). В последнее время развиваются программоносители в виде быстросменных флэш-дисков. Флэш-диск используют для долговременного хранения сотен мегабайт информации. Он представляет собой электрически стираемое перепрограммируемое устройство на микросхеме памяти по технологии Flash (фирма «Интел»). В отличие от обычных микросхем памяти число циклов стирания и записи превышает один миллион. Флэш-диск не имеет подвижных частей, невосприимчив к ударам и вибрациям, устойчиво работает при изменении температуры от -40 до +80°C со средним временем наработки на отказ более 100 лет. В сложных системах появились средства дистанционного программирования распределенных контроллеров через промышленную шину. Пульт управления и модуль управления составляют технические средства общения оператора с микроконтроллером. Модули ввода и вывода предназначены для связи микроконтроллера с исполнительными устройствами манипулятора робота и с технологическим оборудованием. Модуль последовательного интерфейса служит для обмена информацией между микроконтроллером и управляющим вычислительным комплексом верхнего уровня. Микроконтроллер имеет режимы работы: - автоматическое управление по программе, записанной в память рабочей программы; - ручное управление по командам, поданным с пульта управления; - пошаговое выполнение программы; программирование (запись команд в память рабочих программ); - просмотр программы (вывод на индикацию содержимого памяти рабочих программ). Позиционные системы управления роботами относятся к общему классу систем автоматического управления. Основными

техническими характеристиками систем управления, относящихся к данному классу являются: число управляемых координат 3-8, объем памяти программ (кадров) 100-2500, число технологических команд обмена информацией с внешним оборудованием 15-128, тип привода следящий или дискретный. По способу обработки информации (последовательная или параллельная) позиционные системы строятся по структуре с центральным вычислителем и с децентрализованной структурой, когда вычислитель входит в состав каждого координатного блока. Пример системы с централизованной структурой показан на рис. 5.7. Рис. 5.7. Схема централизованной структуры позиционной системы программного управления. Она построена по принципу синхронного микропрограммного автомата (МПА) с конечным числом состояний и жестким циклом управления. МПА предназначен для формирования управляющих микрокоманд в соответствии с алгоритмом функционирования позиционного устройства. Реализация функций центрального управления и логической обработки информации осуществляется операционно-логическим устройством (ОЛУ), который вместе с МПА представляет собой специализированный вычислитель. Основным программируемым явлением является кассетный накопитель (КН), который со своим блоком управления (БУ КН) осуществляет прием, хранение и выдачу по запросу из МПА требуемой программы. Информация в КН формируется по зонам. В одной зоне может быть записано несколько программ. Связь между зонами осуществляется с помощью команд условного или безусловного переходов. В режиме записи и чтения информации обмен идет через ОЗУ, которое предназначено для оперативного хранения рабочей программы, размещенной в одной зоне и используемой непосредственно для автоматического управления роботом. Пульт управления (ПУ) предназначен для задания режимов работы и организации управления в режимах «Обучение», «Поиск кадра», «Программа» и др. Ручное управление манипулятором осуществляется с выносного пульта управления. В общем случае функциональный состав управляющей программы позиционного манипулятора может быть записан выражением  $\Phi = (X + Y + Z + \dots + W + F + N + R + t + p)n$ , где X, Y, Z ..., W – массив информации, соответствующий величинам геометрических перемещений по степеням подвижности, F – скорость перемещений; N – технологические команды; R – информация о последовательности выполнения команд; t – временная задержка; p - логические команды условий перехода; n – число кадров программы. Использование специализированных контроллеров и микропроцессоров в структуре позиционных систем управления делает ее более гибкой и обеспечивает возможность программирования алгоритмов управления путем изменения состава программного обеспечения. Системы контурного управления предназначены для осуществления движения захватного устройства по непрерывной траектории. Это необходимо, например, при автоматизации таких операций, как дуговая сварка, окраска, абразивная зачистка облоя, а также для сложных сборочных операций. Существуют два основных способа построения устройств контурного управления роботами. Первый из них основан на записи в память системы информации об изменении положения каждой степени подвижности во времени, т.е. в виде готовой для отработки приводом непрерывной траектории. Второй способ заключается в записи конечного числа координат точек, принадлежащих желаемой траектории движения захватного устройства робота, с последующей генерацией непрерывной траектории, соединяющей эти точки, путем выполнения интерполяции по заданному закону. Если в первом случае в управляющем устройстве отсутствуют вычислительные блоки, но требуется запоминающее устройство с определенным объемом памяти, то во втором – объем памяти невелик, но в устройство управления приходится включать блок интерполяции. Характерной особенностью роботов с контурной системой управления является, как правило, наличие следящего привода в каждой степени подвижности манипулятора. В некоторых электромеханических роботах с контурной системой управления, когда привод по каждой степени подвижности строится по принципу действия следящей системы, ставятся аналоговые датчики обратной связи (например, потенциометр и тахогенератор).

Вследствие этого приходится вводить в систему аналого-цифровые преобразователи. Значительно большая эффективность системы по быстродействию, точности и плавности движений манипулятора достигается при установке импульсных или кодовых датчиков обратной связи. Тогда с управлением от ЭВМ получается чисто цифровая система управления приводами.. Системы контурного управления могут функционировать также в режимах позиционного управления. Структурная схема одной из распространенных систем контурного управления «Сфера-36» показана на рис.5.8. Это многопроцессорная система, построенная по иерархическому принципу. Ее верхний уровень решает следующие задачи: 1) расчет траектории движения схвата манипулятора и формирование программы движения каждого звена; 2) логическая обработка информации о состоянии устройств, входящих в состав РТК, и синхронизация работы манипулятора с технологическим оборудованием; 3) обеспечение диалогового режима работы оператора; 4) обмен информацией с внешней ЭВМ; 5) запись, чтение и хранение программы пользователя на НГМД (накопитель на гибких дисках); 6) обеспечение режима ручного управления манипулятора с помощью пульта; 7) диагностика работы устройств; 8) калибровка положения звеньев манипулятора. Рис. 5.8. Структурная схема контурной системы программного управления. Нижний уровень в этой схеме управления решает задачи регулирования параметров движения (по положению и скорости) звеньев манипулятора в соответствии с программой, предписанной верхним уровнем. На нижнем уровне имеются шесть следящих электроприводов постоянного тока. Верхний уровень содержит следующие устройства: МЦП – модуль центрального процессора, предназначен для обработки цифровой информации в качестве центрального управляющего и вычислительного устройства; ОЗУ осуществляет временное хранение команд, операндов и рабочей программы в режиме управления; ПЗУ служит для хранения операционной системы и констант устройства управления. Модуль ввода-вывода предназначен для ввода дискретных позиционных сигналов от оборудования в центральный процессор в выдачи команд на технологическое оборудование. Модуль последовательного интерфейса служит для подключения периферийных устройств к каналу центрального процессора. Модуль связи предназначен для организации обмена информацией между каналом центрального процессора и каналом процессоров приводов (МПП). Модуль аналогового ввода осуществляет преобразование аналоговой информации в цифровой код для ввода в канал центрального процессора. Нижний уровень содержит следующие устройства: МПП – модуль процессора привода, производит обработку цифровой информации в качестве вычислительного и управляющего устройства нижнего уровня' МУП – модуль управления приводом, предназначен для управления электроприводом. Он преобразует сигнал процессора привода в ШИП и осуществляет первичную обработку сигнала импульсного датчика обратной связи. ШИП – широтно-импульсный преобразователь в системе управления двигателя. Магистраль М1 является системной магистралью для обмена информацией между МЦП, памятью и внешними устройствами. Это канал ЭВМ, управляющий от МЦП всеми остальными устройствами как исполнительными. Магистраль 2 служит для обмена информацией между МПП и модулем связи. Имеет сеть рациональных запросов для организации прямого доступа к памяти МПП (через модуль связи, работающий по командам МПП). Магистраль 3 предназначена для обмена информацией между процессорами приводов и модулями управления приводами. В состав программного обеспечения входит комплект тестовых программ, позволяющий проверить работу любого устройства. Система управления имеет несколько режимов работы: автоматический – для отработки программы движения манипулятора; программный – для создания новой программы (режим обучения); базисный – для ручного управления каждым звеном; калибровки – для калибровки системы, т.е. установки звеньев в исходное положение, так как только после этого возможно включение автоматического режима. В качестве системного программного обеспечения в устройстве управления «Сфера-36» используется специальная операционная система ARPS. Адаптивной системой управления

называется система управления, обладающая способностью автоматически приспосабливаться к определенным изменениям, происходящим во внешней среде и в самой системе в процессе функционирования. Это достигается за счет того, что в алгоритмах адаптивного управления используется соответствующая текущая информация о состоянии внешней среды. Примерами таких операций, требующих адаптивного управления, являются: работа с неориентированными объектами, взятие хрупких предметов с регулированием усилия сжатия, выбор определенного объекта по внешним признакам из множества других объектов и т.п. Для реализации адаптивного управления в состав системы управления роботом вводятся сенсорные устройства (системы), предназначенные для выявления необходимых параметров внешней среды. Сенсорные устройства (датчики чувствования) роботов делятся на системы технического зрения, тактильные, силомоментные и локационные датчики. В зависимости от задачи, которую выполняет робот, в адаптивной системе используется определенная комбинация указанных датчиков. Для обработки больших объемов информации от датчиков применяют интегральные и структурные методы распознавания образов. Различают три уровня адаптации управляющего устройства к изменениям среды. 1. Изменение работы управляющего устройства при изменении состояния объекта под воздействием среды. 2. Изменение работы управляющего устройства при изменении состояния среды под воздействием объекта. 3. Изменение работы управляющего устройства с целью обеспечения максимального показателя качества при взаимных изменениях объекта и среды. Адаптивное управление может иметь следующие варианты: программное управление с адаптивной корректировкой управляющих программ; адаптивный выбор отдельных подпрограмм в зависимости от реальной внешней обстановки или корректировка значений отдельных параметров этих программ; чисто адаптивное управление в функции от сенсорной информации при полном отсутствии управляющих программ (например, взятие произвольно расположенных объектов путем автоматического наведения на них захватного устройства манипулятора с помощью СТЗ или локационного датчика); комбинированное управление частично по программе, а частично по одному из указанных выше вариантов адаптивного управления. Интеллектуальное (интеллектуальное) управление – это дальнейшее развитие и усложнение адаптивного управления в его программной части, в результате чего действия робота приобретают элементы творчества, т.е. носят интеллектуальный характер подобно действиям человека. Необходимым признаком интеллектуальных систем является способность планировать свои действия для достижения определенной заданной цели. Для этого система должна уметь создавать модель внешней среды – модель мира (применительно к тем целям, которые стоят перед системой). Для того чтобы система могла формировать модель внешней среды, отслеживать происходящие в ней изменения и совершенствовать ее, необходимо в составе системы иметь сенсорные устройства, системы обработки сенсорной информации, распознавания образцов внешней среды и, конечно, приспособленную для решения этих задач и хранения самой модели внешней среды обширную и хорошо организованную память.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:**

1. В чем сущность циклового программного управления роботами?
2. Какова область применения позиционных систем программного управления?
3. Какова область применения контурных систем программного управления?
4. Какие команды содержит кадр в системах позиционного управления?
5. В чем сущность адаптивного управления роботами?
6. В чем сущность интеллектуального управления роботами?
7. Какова роль вычислительных систем в робототехнике?

## **1. 5 Лекция № 5 ( 0,5 часа).**

**Тема: «Информационные системы роботов»**

### **1.5.1 Вопросы лекции:**

1. Классификация сенсорных устройств.
2. Силомоментные системы.
3. Системами технического зрения.

### **1.5.2 Краткое содержание вопросов:**

Информационные системы роботов Информационные системы роботов можно разделить по функциональному признаку на две группы: датчики состояния манипулятора и системы очувствления. К первым относятся датчики положения, скорости, крутящего момента. Вторую группу составляют сенсорные устройства. Классификация сенсорных устройств приведена на рис. 6.1. Рис. 6.1. Классификация сенсорных устройств. Для позиционных и контурных систем управления роботами используются аналоговые и цифровые датчики обратных связей. Из аналоговых датчиков углового перемещения чаще всего применяются потенциометры (рис. 6.2.). В них осуществляется преобразование либо углового перемещения, либо линейного перемещения движка 1 в напряжение постоянного тока ив, пропорциональное этому перемещению. Рис. 6.2. Схемы потенциометрических датчиков: а) угловые, б) линейные. При этом вход 2-3 потенциометра питается постоянным напряжением  $U_0$ . Из-за сопротивления нагрузки  $R_H$  в выходной цепи пропорциональность  $U_B = k_a$  или  $U_B = k_z$  несколько нарушается. Выбором соотношений всех параметров датчика и выходной цепи можно эту погрешность свести к допустимой величине. Металлопленочные и полупроводниковые потенциометры обладают большей точностью и плавностью, чем обычные проволочные. Кроме потенциометрических датчиков для измерения углов и угловых рассогласований в следящих приводах применяются врачающиеся трансформаторы, резольверы и сельсины. Они являются индикаторными электрическими машинами специального вида. Для измерения линейных перемещений могут применяться индуктосины. Аналоговым датчиком угловой скорости для обратной связи в приводе служит тахогенератор. По сути дела, это электрический тахометр (измеритель скорости). Он представляет собой электрическую машину, у которой входом является врачающийся вал, а выходом — напряжение и, генерируемое этой машиной. С определенной точностью выходное напряжение пропорционально угловой скорости вала ( $U = k\omega$ ). Существуют тахогенераторы постоянного тока и асинхронные переменного тока. Обычно тахогенератор встраивается в двигатель электропривода как измеритель скорости вращения вала двигателя. В последнее время в следящих приводах роботов чаще стали применяться цифровые датчики обратной связи - импульсные фотоэлектрические и кодовые. Схемы их первичных элементов показаны соответственно на рис. 2.5, а и б. Поворот диска импульсного датчика с делениями на его периферии фиксируется в виде импульсов фотоэлектрическим элементом, который передает их через счетчик импульсов в систему управления робота. Таким образом, подсчетом числа импульсов измеряются приращения угловых перемещений вала. Числом импульсов в единицу времени может здесь измеряться и угловая скорость вращения. Импульсные датчики имеют различные конструкции и принципы (фотоэлектрические, индуктивные и др.). Кодовый датчик содержит диск, на котором нанесен двоичный код, считываемый фотоэлектрическим устройством. Для компактности конструкции выполняются кодовые датчики, в которых вместо одного большого диска устанавливаются несколько маленьких, соединенных точной механической передачей. Кодовый датчик способен определять не только приращения угловых перемещений, как импульсный, но и положение вала в неподвижном состоянии. Точность датчика зависит от разрядности цифрового двоичного кода. Кодовый датчик значительно дороже импульсного. Применение цифровых датчиков обратной связи в робототехнических системах, построенных на цифровых принципах управления, весьма целесообразно, так как исключает необходимость применения аналого-цифровых преобразований, которые

часто снижают точность и плавность движений манипулятора. Датчики положения выбирают исходя из заданной погрешности позиционирования и перемещений степеней подвижности. Передаточное отношение к датчику положения выбирают в такой последовательности: Находят перемещение по степени подвижности Выбирают датчик положения; Определяют перемещения и скорость того звена механизма, с которым предполагается связать датчик; Вычисляют передаточное отношение к датчику положения. Значения перемещений степеней подвижности обычно указаны в техническом задании. Линейные перемещения степеней подвижности, исполнительные механизмы которых совершают угловое перемещение, находят по формуле  $Si = li\varphi I$ , где  $li$  – расстояние от оси шарнира степени подвижности до схвата, мм;  $\varphi I$  – максимальный угол перемещения степени подвижности, рад. Основные типы датчиков и их характеристики приведены в таблице. Тип датчика Разрешающая способность, дискрет(импульс/об) Диапазон перемещения, оборот Скорость, мин-1 Долговечность, ч (цикл) Потенциометр ППМЛ 10000 20 200 106 Кодовый: АД-15 ППК-15 ФЭП-15 ППК-11 ФЭП-11 2 15 2 15 2 15 2 15 2 15 16 16 16 16 900 900 600 900 600 10000 109 109 109 109 Импульсный: ПИКП2-1Ф ПИКП2-2Ф ВЕ51М ВЕ 106 (1000;2500;5000) 1000; 2500 1000...5400 1000; 1024; 1250 Не ограничивается То же То же 6000 10000 3000 3000 10000 10000 10000 10000 Тип датчика выбирают исходя из оценки достижимой погрешности позиционирования, которая определяется по формуле  $SiK\Delta / D_p \leq \Delta_i$ , где  $Si$  – перемещение степени подвижности;  $D_p$  – число дискрет датчика;  $K\Delta = 1,5...3$  – коэффициент, учитывающий качество измерительных цепей системы управления: большие значения соответствуют аналоговым системам управления;  $\Delta_i$  – погрешность позиционирования робота по  $i$ -й степени подвижности. Датчики типа потенциометров применяют с аналоговыми системами управления. Для стыковки их с цифровыми системами управления необходимо преобразовывать их сигналы в цифровые с помощью дополнительной установки аналого-цифрового преобразователя. При установке импульсных датчиков, с помощью которых можно получить очень высокую точность позиционирования, необходимо предусмотреть в конструкции конечные выключатели нулевого положения степеней подвижности или платы с энергозащищенной памятью, сохраняющей информацию о положении степени подвижности в момент аварийного отключения питания. Место установки датчика и звено механизма, с которым связывают датчик, выбирают исходя из следующих соображений: приведенный люфт от двигателя должен быть меньше дискреты датчика; отсутствие элементов с пониженной жесткостью в кинематической цепи от двигателя к датчику; возможность удобного доступа к датчику. Исходя из этих условий, предпочтительно осуществлять связь вала датчика с валом приводного двигателя непосредственно или через специальный редуктор. Передаточное отношение  $I_{dp} = \varphi_m / \varphi_d$ ;  $\varphi_d \geq \varphi_{dp}$   $Si K\Delta / (D_{dp} \Delta_i)$ , где  $\varphi_m$  – диапазон перемещения звена, с которого передается движение на датчик;  $\varphi_d$  – диапазон перемещения датчика;  $\varphi_{dp}$  – диапазон перемещения датчика по паспорту (см. табл.). Проверку осуществляют по допускаемой частоте вращения датчика:  $n_{dat} = n_{dv} / (i_{dp} i_m) \leq n_p$ , где  $n_{dat}$  – частота вращения датчика, мин-1;  $n_{dv}$  – максимальная частота вращения двигателя, мин-1;  $i_m$  – передаточное отношение от двигателя до звена механизма, с которого передается вращение на датчик;  $n_p$  – паспортная допустимая частота вращения датчика, мин-1;  $i_{dp}$  – передаточное отношение датчика. Локационными системами очуствления называются сенсорные устройства, позволяющие роботу, используя принципы пассивной или активной локации, обнаруживать подвижные и неподвижные объекты, координаты которых известны с большой погрешностью, определять их местонахождение, а также осуществлять наведение и захват этих объектов. Синусоидальные колебания, формируемые специальным генератором, модулируются прямоугольными импульсами таким образом, что излучатель передает в окружающую среду пачки ультразвуковых колебаний (похожие на прерывистый зуммер телефона), частота которых соответствует рабочей частоте генератора колебаний и в большинстве случаев находится в диапазоне 40-

100 кГц. Одновременно с помощью генератора импульсов в момент времени, соответствующий переднему фронту излученного в пространство сигнала, запускаются своеобразные часы локационной системы, в качестве которых выступает счетчик импульсов. Зондирующий ультразвуковой сигнал, отразившись от препятствия, попадает в приемник излучения, где преобразуется из акустической в электрическую форму, усиливается и отфильтровывается от помех. Одновременно из него выделяется модулирующая составляющая, которая с помощью порогового устройства представляется в виде прямоугольных импульсов, следующих на счетчик и останавливающих процесс счета. Так как принятые сигналы запаздывают по отношению к зондирующему на время их прохождения до препятствия и обратно, то число импульсов, накопленное в счетчике за этот период, будет пропорционально удвоенному расстоянию до объекта при условии, что излучатель ультразвука и приемник находятся в непосредственной близости друг от друга. Тактильными называют такие системы очувствления, которые позволяют роботу зарегистрировать факт касания с объектом, определить положение точек касания и измерить контактные силы в каждом из них. Технические аналоги осознательных сенсоров – тактильные системы очувствления могут быть построены с использованием различных физических эффектов: пьезоэлектрического, электромагнитного, магнитоэлектрического и др. Чаще всего тактильными датчиками покрывают внутренние и внешние поверхности губок захватного устройства. Устройство пропорциональной тактильной матрицы показано на рис. 6.3. Рис.6.3. Схема пропорциональной тактильной матрицы. В основу ее работы положен эффект изменения под нагрузкой электрического сопротивления какого-либо эластичного материала, в качестве которого может быть использован, например, каучук, по всей массе которого в процессе изготовления распределены микрочастицы вещества, проводящего электрический ток. Под действием внешней силы каучук прогибается, замыкая электрический контакт с электродами поперечных рядов, а затем деформируется, в результате чего проводящие ток частицы сближаются и начинают контактировать друг с другом, увеличивая количество возможных путей для протекания электрического тока, подводимого с помощью металлических электродов. Таким образом, тактильные элементы, чувствительные к прикосновению и давлению со стороны постороннего предмета, локализуются в области пересечения продольных и поперечных электродов, а их общее количество равно произведению числа столбцов на число строк тактильной матрицы. В результате формируется тактильный образ, являющийся как бы слепком данной детали, преобразованным в форму электрических сигналов и записанным в память микроЭВМ робота. Анализируя полученный тактильный образ, можно оценить, совпадает ли он с одним из эталонов, занесенных в память ЭВМ в процессе обучения робота распознаванию деталей, и, если совпадает, определить положение его характерных точек и ориентацию, например, осей инерции по отношению к осям матрицы. Тактильные системы очувствления пока не получили широкого распространения в робототехнике. Это связано со спецификой их применения, заключающейся в необходимости непосредственного контакта с деталями, имеющими заусенцы, которые могут быть также нагреты до высокой температуры. Силомоментные системы очувствления – это сенсорные устройства, обеспечивающие изменение компонент вектора силы и вектора момента сил, развиваемых роботом в процессе взаимодействия с изделием в проекции на некоторую систему координат. Система силомоментного очувствления состоит из механической части, представляющей собой совокупность упругих элементов с размещенными на них тензопреобразователями, формирующими электрический сигнал, пропорциональный деформации упругого элемента, усилий и коммутирующих устройств и устройства для вычисления величин проекций вектора силы и вектора момента силы (рис.6.4.). В качестве вычислительного устройства используется либо специальный микропроцессор, встроенный в силомоментную систему, либо микроЭВМ управляющего устройства робота. Рис. 6.4. Схема силомоментного датчика. Аналоговая часть силомоментной системы, формирующая совокупность электрических сигналов, величина которых

пропорциональна деформациям конструкции, возникающей вследствие сложного силового нагружения, сопрягается с цифровым вычислительным устройством с помощью аналого-цифрового преобразователя. Наиболее часто датчики силомоментного очуствления устанавливаются между последним звеном робота и его захватным устройством. В этом случае компоненты силового вектора измеряются в проекции на связанную с захватом систему координат. Системами технического зрения называют такие сенсорные устройства, которые обеспечивают получение изображения рабочей сцены, его преобразование, анализ, обработку с помощью микроЭВМ или микропроцессора и передачу результатов измерения управляющему устройству робота или ЭВМ вышестоящего уровня управления (рис.6.5.). Необходимость работы в реальном масштабе времени, т.е. обрабатывать и анализировать получаемые изображения быстро, не вызывая задержки в действиях робота или другого технологического оборудования, - важное требование, налагающее известные ограничения на выбор технических решений при создании систем технического зрения. Рис. 6.5. Схема системы технического зрения. Оптическое изображение объекта, сфокусированное на фоточувствительной поверхности оптоэлектронного преобразователя, трансформируется в электрический сигнал, который в большинстве случаев представляется в форме стандартного телевизионного видеосигнала. В качестве оптоэлектронных преобразователей с СТЗ чаще всего применяют полупроводниковые матрицы приборов с зарядовой связью. Такие матрицы представляют собой кремниевую пластинку ( $8 \times 8$  мм), светочувствительную поверхность которой образует сетка выращенных методами интегральной технологии сложных микроэлектронных компонент, способных воспринимать проецируемое на них изображение. Видеосигнал преобразуется в цифровую форму в устройстве сопряжения датчика изображения с микроЭВМ следующим образом. Поле зрения оптоэлектронного преобразователя разбивается на отдельные элементы, которые образуют сетку, состоящую, например, из  $256 \times 256$  точек. Кроме того, в системах технического зрения, различающих несколько уровней яркости, квантованию, т.е. преобразованию в цифровую форму, может подвергаться и амплитуда видеосигнала в каждой точке изображения. В устройстве сопряжения осуществляется также фильтрация видеосигнала, представленного в цифровой форме, в результате которой снижается количество помех на изображении. Последующие этапы преобразования и анализа изображения осуществляются микроЭВМ, входящей в состав СТЗ. Оперируя с массивом нулей и единиц, описывающих распределение яркости светового потока по полю зрения видеодатчика, микроЭВМ последовательно выделяет точки изображения, в которых происходит резкое изменение яркости. Как правило, эти точки принадлежат контуру той или иной детали, находящейся на сцене, или являются точками, подчеркивающими различные особенности одной детали, например отверстия, ребра и т.п. В дальнейшем выполняется анализ связности, т.е. определяется принадлежность каждой точки тому или другому контуру, являющемуся замкнутой кривой, и осуществляется сегментация изображения, представляющая собой процедуру выделения на изображении отдельных не связанных и не соприкасающихся объектов. После выполнения этих предварительных преобразований можно подсчитать количество отдельных деталей, находящихся в поле зрения, и приступить к завершающей фазе анализа изображения, в ходе которой вычисляются характерные признаки каждого из выделенных в процессе сегментации объектов. В качестве таких признаков используются различные параметры изображения объекта, не изменяющиеся при его смещении или повороте, например площадь, длина периметра, максимальный и минимальный моменты инерции, количество углов, радиусы вписанной и описанной окружностей и др. Одновременно могут быть измерены координаты центров тяжести и ориентация каждого из объектов на изображении по отношению к системе координат оптоэлектронного преобразователя, знание которых необходимо, например, для захвата интересующей детали роботом и установки ее в заданное положение с требуемой ориентацией при сборке изделий. Распознавание или выбор желаемой детали на сцене выполняется путем

сравнения вычисленного для каждой детали списка признаков с аналогичными списками, полученными в процессе обучения системы технического зрения и хранящимися в запоминающем устройстве микроЭВМ.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:**

1. На какие группы подразделяются информационные системы роботов?
2. Что представляют собой датчики обратной связи?
3. В чем сущность силомоментного чувствования роботов?
4. Для чего применяют локационные датчики?
5. Каковы недостатки аналоговых датчиков обратной связи?
6. Что такое тактильное чувствование?
7. Какова область применения СТЗ в промышленных роботах?

## **1. 6 Лекция № 6 (0,5 часа).**

**Тема: «Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы.»**

### **1.6.1 Краткое содержание вопросов:**

Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы Дистанционно управляемые манипуляторы классифицируются по типу систем управления: с командным управлением, с копирующим управлением, с полуавтоматическим управлением. Дистанционно управляемые роботы разделяются на два рода: с супервизорным управлением, с диалоговым (интерактивным) управлением. Командное управление характеризуется тем, что человек-оператор путем нажатия различных кнопок или включения различных тумблеров запускает по очереди приводы манипулятора по различным степеням подвижности, добиваясь таким образом поочередным включением каждого привода требуемого конечного положения всего манипуляционного механизма. Копирующее управление отличается тем, что человек-оператор работает с задающим механизмом, кинематически полностью подобным рабочему манипулятору. При этом каждый шарнир задающего механизма связан по принципу следящей системы с соответствующим шарниром рабочего манипулятора. В копирующем системе наблюдение может вестись либо непосредственно визуально, либо на расстоянии по телевизионной системе. Важным фактором в копирующих системах является масштабирование перемещений и усилий. При необходимости больших перемещений в рабочей зоне задающее устройство, сохраняя кинематическое подобие манипулятору, может иметь меньшие размеры. Наоборот, для микроманипуляторов задающее устройство делается более крупным в соответствии с возможностями движения человеческой руки. То же самое касается и масштабирования усилий на задающем устройстве по сравнению с рабочими усилиями на манипуляторе. Различают типы дистанционных копирующих систем управления манипуляторами: системы одностороннего действия, системы с пассивным отражением усилий, системы двухстороннего действия необратимые, системы двухстороннего действия комбинированные. В системах одностороннего действия происходит лишь односторонняя передача воздействия человека-оператора на манипулятор без ответных воздействий со стороны манипулятора на человека (рис. 7.1). Имеется только внутренняя обратная связь по положению в системе «задающее устройство-манипулятор». Недостатком является то, что оператор не чувствует рабочих усилий при действиях манипулятора. Рис. 7.1. Поэтому часто копирующую систему одностороннего действия снабжают устройством пассивного отражения усилий от рабочего манипулятора на руку человека-оператора. Таким устройством может служить моментный загружатель, создающий сопротивление движению данного звена задающего устройства, пропорциональное моменту в соответствующем звене рабочего манипулятора, вызванному внешним воздействием со стороны объекта работ. Копирующие системы двухстороннего действия отличаются тем, что приводы устанавливаются не только на

рабочем манипуляторе, но и в задающем устройстве. Благодаря этому в системе двухстороннего действия передача обеих величин (перемещение и усилие) происходит в двух направлениях – от задающего устройства к манипулятору и обратно (рис.). Таким образом, здесь имеет место активное отражение усилий от манипулятора на руку человека через задающее устройство. Обратимые системы двухстороннего действия могут быть симметричными и несимметричными. Рис. 7.2. Полуавтоматическая система дистанционного управления манипулятором отличается от копирующей другим характером задающего устройства и наличием вычислителя. Вместо многозвездного механизма, повторяющего кинематику рабочего манипулятора, здесь применяется управляющая рукоятка с несколькими степенями свободы, и вместо сложного движения при копирующем способе человек-оператор производит только легкое нажатие на рукоятку в требуемом направлении. Конфигурация управляющей рукоятки на обязательно соответствует кинематике рабочего манипулятора. Сигналы от управляющей рукоятки поступают в микропроцессорное вычислительное устройство, где они преобразуются по определенным алгоритмам, в результате чего формируются сигналы управления, подаваемые на все приводы звеньев манипулятора. Рис. 7.3. В такой системе благодаря наличию микропроцессорного вычислительного устройства могут быть реализованы самые различные алгоритмы управления и осуществляться движения в любой системе координат независимо от кинематики манипулятора и конфигурации управляющей рукоятки. Наиболее типичны три вида алгоритмов управления: скоростной, силовой и позиционный. При скоростном алгоритме управления величина смещения рукоятки по каждой степени подвижности преобразуется в электрический сигнал, пропорциональный величине смещения. Эти сигналы посыпаются в микропроцессорный вычислитель. Там происходит преобразование координат управляющей рукоятки в координаты рабочего манипулятора и формирование сигналов управления приводами по каждой степени подвижности манипулятора таким образом, чтобы схват получил движение в том же направлении, в котором человек нажал на управляющую рукоятку. По значению эта скорость должна быть пропорциональна величине смещения управляющей рукоятки. При этом, очевидно, общая величина и направление смещения образуются из составляющих в системе координат рукоятки, а общее значение и направление скорости схвата – из составляющих в системе координат рабочего манипулятора. При силовом алгоритме управления аналогично происходит весь процесс снятия сигналов с управляющей рукоятки и преобразования их в микропроцессорном вычислителе с последующим формированием сигналов управления приводами рабочего манипулятора. Отличие состоит в том, что пропорционально общему смещению управляющей рукоятки создается сила, как бы тянувшая за конец манипулятора, чем и определяется его движение. Непосредственно эта сила реализуется при соприкосновении схвата или инструмента с каким-либо внешним предметом. Смещение в управляющей рукоятке пропорционально силе нажатия руки человека за счет того, что управляющая рукоятка подпружинена по каждой степени подвижности. Следовательно, можно сказать, что сила, образующаяся на конце рабочего манипулятора, пропорциональна по величине и одинаково направлена с силой нажатия человека на рукоятку. При позиционном алгоритме управления происходит аналогичная процедура преобразования и формирования сигналов, но разница состоит в том, что в результате получается величина и направление смещения конца рабочего манипулятора, пропорциональное смещению в управляющей рукоятке от руки человека-оператора. Принцип дистанционного управления роботами (супервизорный и диалоговый) предполагают автоматические режимы действия робота, помещенного в рабочей зоне. При этом функционированием робота управляет ЭВМ по заданной или адаптивно изменяющейся программе таким же образом, как в промышленных роботах. Но дополнительно робот имеет здесь дистанционную связь с человеком. Последний, наблюдая за ходом технологической операции с помощью телевидения, дистанционно тем или иным способом вмешивается в его действия. Дистанционная связь служит для

отображения на пульте оператора обстановки и действий робота в рабочей зоне и для задания средствами супервизорного или диалогового управления программ автоматического выполнения всех операций роботом. Супервизорное управление заключается в следующем. На пульте управления человека- оператора установлены дисплейное (телевизионное) и другие устройства и приборы отображения обстановки в рабочей зоне робота (рис.). Здесь действует канал информационной дистанционной связи человека с роботом. Последний, наблюдая таким образом обстановку и действия робота, принимает решения о подаче тех или иных управляющих команд со своего пульта в зависимости от сложившейся обстановки. ЭВМ робота, получив команду, исполняет ее по соответствующей программе. Набор различных программ придан роботу заранее. Каждая программа указанного набора соответствует автоматическому выполнению роботом определенной операции, поэтому человеку-оператору отводится функция распознавания обстановки и выдачи ЭВМ робота задания на определенную операцию, которая затем самостоятельно выполняется роботом в автоматическом режиме. Рис. 7.4. Выдача человеком команд по дистанционному управляющему каналу может осуществляться различными способами. Например, может подаваться кодовый признак программы (в виде некоторого числа) на выполнение определенной операции, затем – замена его на кодовый признак другой программы. В других случаях супервизорная команда образуется на экране в виде целеуказания. Например, световым карандашом на экране телевизора (дисплея) можно указать точку, в которую должен переместиться схват манипулятора робота и взять там заданный предмет. Оба канала дистанционной связи (информационный и управляющий), как правило, должны быть снабжены микроЭВМ или микропроцессорными устройствами для обработки информации с целью ее наилучшего отображения на пульте оператора и для формирования программ и целеуказательных сигналов управления по командам человека-оператора. Рис. 7.5. Диалоговая система представляет собой следующую ступень совершенствования дистанционного управления роботами. Здесь робот, обладая свойствами адаптации к обстановке или даже элементами искусственного интеллекта, может сам выдавать рекомендации человеку- оператору по возможным способам действия и их основным характеристикам, исходя из заложенного в память робота задания и на основании результатов оценивания им обстановки в зоне его действия (рис.). Робот может информировать человека о неосторожных и приводящих к опасным результатам его действиях. Робот может запрашивать человека о помощи в каком-либо виде, если ему недостает данных для выполнения требуемой операции. Общение робота с человеком здесь может происходить на языке, близком к естественному. В такой системе задания роботу со стороны человека-оператора осуществляются в более общей форме, чем при супервизорном управлении, где робот не имеет «думающих» функций.

## **1. 7 Лекция № 7 (1 час).**

**Тема: «Роботизированные технологические комплексы в машиностроении.»**

### **1.1.1 Вопросы лекции:**

1. Классификация РТК.
2. Обслуживание металлорежущих станков.
3. Обслуживание ванн гальванопокрытий.
4. Роботизированные сварочные комплексы.

### **1.1.2 Краткое содержание вопросов:**

Роботизированные технологические комплексы в машиностроении Роботизированный технологический комплекс (РТК) – совокупность единицы технологического

оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующая и осуществляющая многоократные циклы (ГОСТ 26.228-85. Системы производственные гибкие, Термины и определения). Примечание: 1. РТК, предназначенные для работы в гибких производственных системах должны иметь автоматизированную переналадку и возможность встраиваться в систему. 2. В качестве технологического оборудования может быть использован промышленный робот. 3. Средствами оснащения РТК могут быть: устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи объектов производства и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТК. В случае если количество промышленных роботов и единиц технологического оборудования больше, то это будет роботизированный технологический участок – совокупность РТК, связанных между собой транспортными средствами и системой управления. В зависимости от назначения РТК классифицируются: 1) по видам производства, например, РТК механической обработки, точечной сварки, сборки и т.п. 2) по наименованию операций, оборудования, например, РТК токарной обработки, листовой штамповки и т.п. 3) по виду предметов труда: РТК тел вращения, корпусных деталей, печатных плат и т.п. На практике наиболее часто встречаются следующие типовые компоновочные схемы РТК: РТК-1 – линейное расположение технологического и вспомогательного оборудования (рис. ); РТК-2 – характеризуется линейно-параллельным расположением основного и вспомогательного оборудования и создается на базе ПР тельферного типа с плечелоктевой конструкцией манипулятора (рис. ); РТК-3 включает комплексы, созданные на базе ПР, работающих в цилиндрической системе координат с горизонтальной осью вращения (рис. ); РТК-4 – создаются на базе ПР, работающих в цилиндрической системе координат и характеризуется круговым расположением основного и вспомогательного оборудования (рис. ); РТК-5 – создаются на базе ПР, работающих в сферической системе координат. Такие ПР используются для группового обслуживания разнотипного по схемам загрузки оборудования, а также при сварке, окраске и т.п. (рис. ); РТК-6 – ряд роботов одновременно и взаимосвязано обслуживаются одну единицу технологического оборудования или одно рабочее место. Чаще всего используется на операциях автоматической сборки, где в качестве рабочего места используется поворотный стол (рис. ). Различные варианты построения РТК в сочетании с соответствующими техническими характеристиками оборудования, технологией обработки, способами организации труда обеспечивают получение различного экономического эффекта. РТК простейшего типа предназначены для выполнения одной технологической операции. Их принято называть роботизированными технологическими модулями (РТМ). Если промышленный робот в составе РТМ выполняет технологический переход, он сам выступает в роли технологического оборудования. В зависимости от вида производства применяются соответствующие названия: штамповочный модуль, окрасочный модуль и т.п. РТК, предназначенные для выполнения нескольких технологических операций и построенные на базе одного ПР, принято называть роботизированными технологическими ячейками (РТЯ). Технологическое оборудование в РТЯ может комплектоваться по круговой, параллельной или линейной схемам. Организационным условием создания РТЯ является достаточно большое машинное время обработки изделий, в несколько раз превышающее время обслуживания оборудования роботом. РТК, предназначенные для выполнения последовательности нескольких технологических операций, необходимых для частичного или полного изготовления изделий, и построенные на базе нескольких ПР, имеющие средства транспорта, а также устройства для хранения запасов предметов производства представляют собой роботизированную технологическую линию (РТЛ). Основным организационным отличием РТЛ является обеспечение непрерывности и ритмичности производства, сокращение длительности производственного цикла и минимизация величин цикловых заделов. РТЛ более характерны для крупносерийного и массового производства. Отдельные РТМ, РТЯ, РТЛ, находящиеся на ограниченном участке

производственной площади, могут составлять единую производственно-организационную систему - роботизированный участок. При этом качественно они не будут являться единой системой машин, а будут объединены чисто организационными связями, при этом уровень автоматизации транспортных операций остается низким. Независимо от типа производства, уровня структурного подразделения, необходимо провести комплексное обследование, конструкторскую, технологическую и организационную подготовку производства к внедрению РТК. Комплексное обследование включает пять основных направлений: сбор данных об изделиях, обрабатываемых (собираемых) в обследуемом производственном звене; сбор данных о средствах технологического оснащения производственного звена; определение организационных параметров обследуемого производства; сбор исходной экономической информации; определение социальных предпосылок роботизации. Особое внимание следует уделить анализу структуры программы выпуска изделий на обозримый период времени для определения возможных изменений технологических свойств и объемов выпуска продукции, влияющих на стабильность производственного процесса. Конструкторский этап подготовки производства включает классификацию выпускаемых изделий, предварительное группирование деталей, разработку мероприятий по унификации и повышению технологичности, прогнозирование деталей-аналогов. Технологический этап подготовки производства включает окончательное группирование деталей, разработку чертежей комплексных деталей, разработку групповых технологических процессов, разработку мероприятий по унификации и стандартизации технологии. Основным средством уменьшения трудоемкости технологической подготовки производства является ее автоматизация с помощью ЭВМ (использование различных пакетов САПР-Т). Обслуживание металлорежущих станков. Станочное оборудование РТК должно обеспечивать высокий уровень концентрации и совмещения переходов обработки. Этим требованиям наиболее полно отвечают станки с ЧПУ, имеющие полностью автоматизированный цикл работы, в том числе переключение скоростей и подач, автоматизированный зажим изделия, автоматическую смену инструмента. Для повышения надежности РТК необходимо обеспечить автоматизацию контроля в процессе обработки, автоматизацию подачи СОЖ в зону резания, надежную систему дробления и удаления стружки. Все перемещающиеся при работе узлы, связанные с функционированием ПР (пиноль задней бабки, ограждение) должны оснащаться датчиками, фиксирующими их конечные положения. Станки токарной группы должны обеспечивать быстрый останов шпинделя после обработки, при применении патронных станков необходимо обеспечить поджим заготовок к базам приспособлений. Для станков сверлильной и фрезерной групп предусматривают загрузку и выгрузку деталей в определенном положении стола, исключающем возможность касания захватного устройства или заготовок режущих кромок инструмента. Станки должны иметь блокирующие устройства для автоматической остановки при незакрепленной или неправильно закрепленной заготовке. Для многостаночного обслуживания в условиях мелкосерийного и серийного производства при обработке крупных деталей с большим временем обработки рекомендуется применять подвесные роботы. Область применения напольных роботов – комплексы из одного станка в условиях серийного и крупносерийного производства, обрабатывающие сравнительно мелкие детали с малым временем обработки, при этом расположение робота не должно затруднять обслуживание станка. Обслуживание ванн гальванопокрытий. РТК гальванопокрытий позволяют освободить рабочих от тяжелого труда во влажной атмосфере, насыщенной испарениями вредных растворов. Процесс гальванопокрытия представляет собой последовательное выдерживание деталей в ваннах никелирования, меднения, анодирования, хромирования и т.п. ПР осуществляют установку, перенос и снятие подвесок с деталями из ванны в ванну (рис. ). Для этого применяют: универсальные роботы, установленные стационарно или на подвижной рельсовой тележке, перемещающейся вдоль ванн; подвесные транспортные роботы на монорельсе;

специализированные роботы в составе автоматических линий гальванопокрытий. ПР захватывает подвеску с деталями из гнезд магазина и по программе перемещает и опускает ее в ванны с растворами. В системе управления роботом программируется последовательность обслуживания ванн и время выдержки подвески в каждой ванне. Скорость опускания ограничивается необходимостью смягчения удара ограничителя спуска о края ванны и устойчивостью подвески, а скорость подъема – временем стекания остатков раствора с деталей. Универсальные роботы применяют для отдельных деталей, гальванообработка которых требует поворотов и перемещений. Обычно используют подвесные роботы, обеспечивающие компактность линии, свободный доступ к ваннам, снижение металлоемкости. Грузоподъемность робота составляет до 5000Р; число позиций обслуживания – до 18; число степеней подвижности – 2, погрешность позиционирования – до 50 мм, скорость перемещения – 15 м/мин, скорость подъема и опускания – 30 м/мин., система управления роботом – цикловая. Литейное производство. В настоящее время целесообразно роботизировать в литейном производстве следующие операции: - заливку форм; - выбивку форм; - очистку отливок; - обрубку и зачистку отливок; - погрузочно-разгрузочные операции. В литейном производстве ПР применяют для очистки пресс-форм струей сжатого воздуха и нанесения на ее поверхность смазочного материала с программируемой интенсивностью. Стабилизация нанесения смазки позволяет поддерживать заданный нагрев пресс-формы. Применение ПР для автоматической заливки металла в пресс-форму повышает точность дозирования и стабилизирует процесс заливки. Манипулятор-заливщик совершают качающиеся движения захватного устройства с ковшом от тигля с расплавленным металлом к заливочному окну пресс-формы и обратно. Роботы, работающие в цилиндрической системе координат, применяют для извлечения нестыковых хрупких или крупногабаритных отливок из пресс-формы. После извлечения отливки роботы могут подавать ее в камеру охлаждения или под пресс для обрубки литника – застывшего канала, по которому подавался жидкий металл. А других участках литейного производства роботы выполняют операции по шлифованию поверхности отливки с помощью дробеструйного пистолета или абразивного инструмента, переносу форм и отливок. Горячая объемная штамповка Для объемной штамповки раскаленных заготовок требуется одинаковое время переноса заготовки и возможность многооперационной обработки заготовки с изменением ее формы в рабочей зоне. Робот должен удерживать заготовку при ударах ковочного молота. С позиции роботизации технология характеризуется необходимостью поддержания нагрева заготовки в процессе обработки, требующим минимального времени переноса заготовки из зоны нагрева под пресс, выполнением многоперходной обработки на одной машине, изменением формы изделия, ударами при обработке. Роботы должны обеспечивать высокую скорость перемещений, контроль температуры и фиксацию заготовки, иметь грузоподъемность 10-50 кг. При молотовой ковке тяжелых деталей применяют манипуляторы с ручным управлением. Необходимы контроль освобождения штампа от детали, фиксация детали в штампе, удаление отходов штамповки, блокировка пресса при захвате роботом более двух заготовок. Автоматизация холодной штамповки. В настоящее время РТК штамповки создаются на базе кузнечно-прессового оборудования, выпускаемого заводами машиностроительного комплекса. К такому оборудованию относятся: прессы однокривошипные открытые и закрытые, одинарного и двойного действия; прессы винтовые, гидравлические и других типов с усилием от 63 до 40000 кН в зависимости от конструкции. Отличительной особенностью листоштамповочных прессов является их большое быстродействие (до 60 и более ударов в минуту). В то же время для холодной листовой штамповки не требуются промышленные роботы с большим числом степеней свободы и с высокой точностью. Обычно для таких роботов используют системы циклового программного управления. В настоящее время наибольший объем деталей штампуется на однокривошипных открытых прессах простого действия усилием 160-2500 кН с количеством вторичных операций 1-3 и более. РТК холодной штамповки условно

можно разделить на три группы: роботизированный модуль, состоящий из одной единицы основного технологического оборудования, обслуживаемого роботами; роботизированный участок, состоящий из одного робота и обслуживаемых им двух-трех единиц основного технологического оборудования; роботизированная линия, состоящая из нескольких РТК, объединенных передающими устройствами. Промышленные роботы, используемые для холодной штамповки, чаще всего имеют одну или две руки. Однорукие ПР используются при однооперационной штамповке, когда отштампованная деталь удаляется из штампа с помощью сбрасывателей или выпадает в отверстие матрицы. Если автоматическое удаление детали из штампа невозможно, применяют двурукие роботы. Применение ПР с большим числом рук рационально при обслуживании одним роботом двух прессов. Роботизированные сварочные комплексы. В современном машиностроении наиболее распространенными являются дуговая и точечная сварка. Сварочный РТК для дуговой сварки включает автоматический манипулятор горелки, систему управления всем комплексом, позиционер (манипулятор изделия) и сварочное оборудование, сопряженное с системой управления комплекса. ПР дуговой сварки имеют различное конструктивное исполнение, их манипуляторы обладают, как правило, пятью – шестью степенями подвижности. Существует несколько способов подачи деталей для сварки с помощью ПР: Детали собираются в спецоснастке, где они прихватываются, после чего изделие освобождается от оснастки и поступает к роботу, устанавливается на свои базовые поверхности и закрепляется на кантователе робота; Детали собираются в спецоснастке непосредственно на кантователе робота, производится их прихватка, а после освобождения от оснастки – сварка; Детали собираются в зажимных приспособлениях на кантователе, после чего выполняется сварка; Детали собираются и зажимаются в приспособлении-спутнике на специальной позиции сборки, спутник поступает на позицию сварки робота, автоматически фиксируется на его кантователе, выполняется сварка, после чего спутник поступает на позицию разборки. Для выполнения дуговой сварки необходимы ПР с контурными системами управления. Эти системы служат для перемещения горелки по заданной траектории при заданной ее ориентации и с постоянной скоростью с помощью технологических команд управляют сварочным оборудованием (установка режимов, включение – выключение сварки, заварка кратера, продувка газа и т.п.). Во время работы сварочного РТК периодически приходится останавливать робот для очистки горелки от брызг расплавленного металла. Для автоматизации этой операции используются специальные зачистные приспособления (в виде врачающейся щетки или фрезы). Применяется также автоматическая продувка сопла горелки сжатым воздухом с последующим орошением внутренней поверхности силиконовой эмульсией для уменьшения прилипания брызг расплавленного металла. Для осуществления операций контактной точечной сварки чаще всего используются универсальные роботы с позиционной или позиционно-контурной системой управления. РТК нанесения лакокрасочных покрытий. В настоящее время около 80% промышленных изделий защищается от коррозии с помощью лакокрасочных материалов. При этом 70% покрытий наносят методом распыления, причем основная масса работ выполняется вручную. На операциях нанесения лакокрасочных покрытий в настоящее время находят применение специализированные и универсальные промышленные роботы. Специализированные роботы предназначены для окраски плоских и приводимых к ним поверхностей. Их применяют в условиях крупносерийного и массового производства. Специализированные окрасочные роботы представляют собой вертикальные или горизонтальные колонны, на каретке которых укреплены электростатические краскораспылители. Каретка совершает возвратно-поступательные движения, а рабочий орган имеет горизонтальный или вертикальный ход. Универсальные окрасочные роботы представляют собой в общем случае многозвенные шарнирно-сочлененные (антропоморфные) конструкции, способные окрашивать сложные пространственные контуры. Они оснащаются контурными системами ЧПУ. Проблема комплексной механизации процесса нанесения лакокрасочных

покрытий является достаточно сложной, так как одновременно необходимо автоматизировать и объединить в единый технологический комплекс подготовку поверхности изделия, установку изделия на конвейер или другую транспортную систему, транспортирование, кантование, нанесение покрытия, подготовку и доставку краски, промывку трубопроводов, разгрузку, диспетчирование и управление комплексом, разгрузку, складирование, очистку и удаление отходов. РТК сборки. Сборочные работы в различных отраслях машиностроения составляют 40 – 50% общей трудоемкости изготовления изделий, при этом уровень автоматизации, используемый в основном в условиях крупносерийного и массового производства, составляет 5-7%. Процесс автоматической сборки с помощью ПР подразделяется на несколько этапов: накопление в различных устройствах (паллетах, магазинах и т.п.), конструкция которых зависит от конфигурации и габаритов объектов сборки; захватывание детали (объекта) роботом,, оснащенным захватом или сборочным приспособлением; транспортирование с помощью ПР на позицию сборки и от нее на позицию накопления; ориентация; сопряжение деталей с помощью ПР или на специальном сборочном оборудовании. Существуют три основных концепции построения РТК сборки: 1. Вся сборочная операция расчленяется на элементарные, каждая из которых выполняется узкоспециализированным роботом. Это наиболее часто применяемая схема при автоматизации массового производства. 2. ПР – сборщик располагается в центре комплекса. Вокруг него располагается различное вспомогательное оборудование с необходимым запасом деталей. Работ в соответствии с программой извлекает детали и осуществляет их сборку, используя при этом стационарные монтажные приспособления и оснастку. 3. Весь сборочный процесс расчленяется на группы элементарных операций. При этом для сборки каждой сборочной группы используется специализированный робот. В этом случае работа всех роботов осуществляется под управлением центральной ЭВМ. По структурному признаку сборочные РТК подразделяются на однопозиционные и многопозиционные, т.е. с концентрацией или дифференциацией операций процесса сборки. К конструктивным особенностям ПР для сборки относятся: возможность автоматической смены захватов и сборочных инструментов; широкий диапазон скоростей перемещения исполнительных звеньев; адаптация к определенным условиям захватывания и соединения деталей; контроль качества сборки; повышенная точность позиционирования при наличии устройств компенсации погрешности позиционирования при соединении деталей.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **2.1 Практическое занятие №1( 1 час).**

**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 неопределенное, 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 (осзание, 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 производится 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.

Изучение данного направления для меня – это, прежде всего реальная возможность стать специалистом в этой области, которая в данный момент востребована и актуальна.

## **2.2 Практическое занятие №2 ( 0,5 часа).**

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

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

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 встроенным в оборудование, подвесными и напольными. *По типу систем управления* ПР делятся на три рода: программные, адаптивные и интеллектные (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. Интеллектным роботам задание на работу вводится человеком в более общей форме, а сам робот обладает возможностью принимать решения и планировать свои действия в неопределенной и меняющейся обстановке, чтобы выполнить заложенное в его память задание.

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 многозвездный 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:

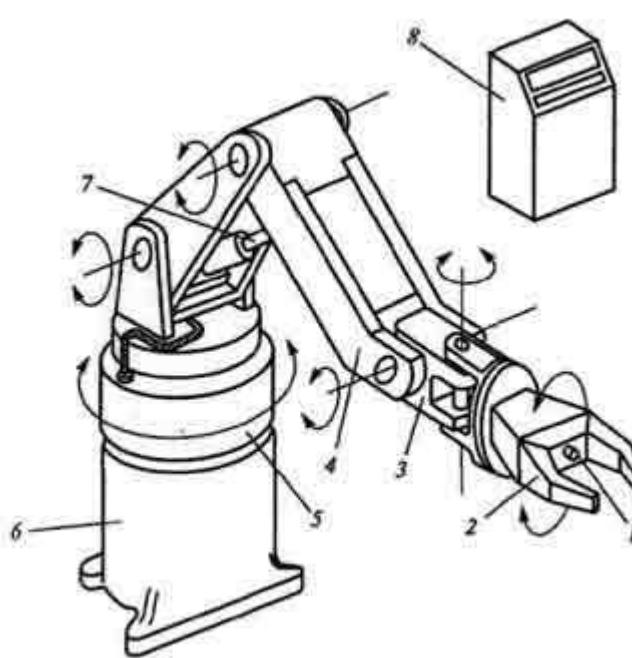


Рис. 3.4. Конструкция промышленного робота:

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 Практическое занятие №3 (0,5 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 соответствие 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 вручную транспортирование и 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 запыленностью и загазованностью, повышенным уровнем ионизирующего излучения и т.д., должна применяться закрытая камера, вход в которую должен быть блокирован 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 сблокирован 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.

## **2.4 Практическое занятие №4 (0,5 часа).**

**Тема:** «Системы программного управления промышленных роботов»

### **2.4.1 Краткое описание проводимого занятия:**

Как отмечено выше, система управления, являясь основной составной частью информационно-управляющей системы, обеспечивает выработку закона управления исполнительными устройствами робота и формирование управляющих сигналов.

Системы управления роботов классифицируются по методу управления (или степени непосредственного участия в управлении человека-оператора), принципу управления, типу системы управления, способу позиционирования, способу представления командной информации, способу программирования, объему памяти.

По методу управления, или степени непосредственного участия в управлении человека-оператора, различаются автоматизированные и автоматические системы управления. В автоматизированных СУ наряду с автоматическим действием часть функций управления выполняет человек-оператор (биотехнические и интерактивные роботы). Автоматические СУ обеспечивают управления без непосредственного участия человека-оператора (автономные роботы).

В зависимости от назначения и условий конкретного применения в системах управления могут реализовываться принципы управления программного (жесткопрограммируемого), адаптивного и интеллектуального (гибкопрограммируемого).

Системы жесткопрограммируемого управления требуют строгой определенности, постоянства параметров и -условий выполняемой работы, а программа содержит объем информации, не изменяющейся в процессе работы, в связи с чем среда манипулирования робота должна быть организованной, т.е. все предметы, инструменты и объекты, с которыми взаимодействует робот в процессе выполнения рабочих операций, должны находиться в определенных местах и иметь строго определенную пространственную ориентацию. Благодаря своей простоте, системы программного управления широко применяются в промышленных роботах, что, в свою очередь, способствует их дальнейшему совершенствованию.

Системы адаптивного управления не содержат полной информации о параметрах и условиях выполняемой работы: обычно программа включает информацию о начальном и конечном положениях рабочего органа манипулятора с набором алгоритмов поведения робота в зависимости от возможных состояний внешней среды, а сенсорное обеспечение позволяет автоматически корректировать программные действия на основе получаемой информации путем соответствующего изменения управляющих воздействий, т.е. дополнительно реагировать на изменение параметров и условий работы изменением алгоритма управления, что улучшает качество управления, упрощает программирование, расширяет возможности робота. Системы адаптивного управления применяются в окрасочных, сварочных и сборочных промышленных роботах

Наиболее совершенны интеллектуальные системы управления, способные формировать программу действий робота в соответствии с поставленными общими целями и задачами в

условиях неопределенности параметров выполняемой работы и окружающей обстановки, т.е. решать интеллектуальные задачи посредством получения, запоминания и целенаправленного преобразования информации в процессе обучения и выполнения действий, а также адаптации к изменяющимся условиям внешней среды. Такие системы, сообразуясь с информацией, получаемой с помощью сенсорных устройств, формируют в памяти модель внешней среды, вырабатывают план действий, накапливая опыт и самосовершенствуясь в процессе обучения, выполнения работы и взаимодействия с внешней средой. Интеллектуальные СУ находятся пока в стадии теоретической, экспериментальной и опытно-конструкторской разработки.

По способу управления системы управления разделяются на разомкнутые и замкнутые. В разомкнутых СУ отсутствует входная информация о состоянии робота и внешней обстановки, поэтому для управления необходимо точное соблюдение всех параметров и условий технологического процесса, а также и постоянства физических характеристик робота. Изменение этих характеристик в процессе работы (появление люфтов, изменение моментов и сил сопротивлений в шарнирах и передачах и т.п.) приводит к изменению точностных параметров позиционирования, снижая эксплуатационную надежность робота.

Преимущественное применение в промышленных роботах находят замкнутые СУ, лишенные этих недостатков. Элементы привода и исполнительных органов в них охвачены как внутренними, так и внешними обратными связями, а управление осуществляется с учетом текущих параметров состояния робота.

Конструктивное построение, сложность и функциональные возможности системы управления в значительной мере определяются типом управления - цикловым, позиционным, контурным или адаптивным. Эти СУ отличаются друг от друга прежде всего содержанием командной информации, управляющей движением манипуляционных звеньев робота.

Цикловая система программного управления (ЦСПУ) - система управления, в которой командная информация содержит признак звена манипулятора и направление его движения. Цикловое управление является простейшим, обеспечивая в основном двухточечное позиционирование, осуществляемое по жестким упорам, расположенным в крайних положениях, и применяется при выполнении промышленными роботами вспомогательных операций (при обслуживании станков, прессов, литейных машин и т. п.).

Позиционная система программного управления (ПСПУ) - система управления, в которой командная информация содержит кроме признака звена и направления движения еще и величину перемещения. Позиционные системы с небольшим количеством программируемых точек сокращенно обозначаются в литературе ptp (point-to-point), с большим набором запоминаемых точек - mp (multi point). Позиционное управление роботов является более сложным, обеспечивая многоточечное позиционирование, для чего содержит информацию о положении звеньев непосредственно в программном обеспечении, обладают большими технологическими возможностями и универсальностью. Промышленные роботы с позиционной СУ применяются для обслуживания оборудования или групп оборудования, а также для выполнения основных технологических операций.

Контурная система программного управления (КСПУ) - система управления, в которой командная информация содержит кроме признака звена, направления и величины перемещения еще и параметры траектории (контура), по которой осуществляется движение. Такие системы обозначают сокращенно cp (continuous path). Контурное управление обеспечивает перемещение звеньев манипулятора по непрерывной траектории, обладает высокой универсальностью и значительными технологическими возможностями. Промышленные роботы контурной СУ применяются для выполнения, как правило, основных, а не вспомогательных технологических операций, например,

сборки, окраски, нанесения эмалей, контурной сварки, шлифовки сварных швов, газовой резки и т. п.

Помимо рассмотренных, получили распространение различные комбинированные системы управления, в которых сочетаются цикловой, позиционный и контурный типы управления. В последнее время стали выделять в качестве отдельного типа также адаптивную систему программного управления (АСПУ), обладающую значительно большими техническими возможностями, благодаря системам очувствления на базе тактильных, локационных, телевизионных и других сенсорных устройств, позволяющих определять положение, конфигурацию и другие особенности объектов манипулирования. Такие СУ реализуются обычно на базе мини-ЭВМ и исключают необходимость в сложных устройствах для ориентирования и позиционирования деталей, упрощают и укоряют переход к новым операциям. Адаптивные системы управления промышленных роботов позволяют выполнять технологические процессы сварки, сборки, монтажа.

По способу позиционирования системы управления разделяются на позиционные, контурные и комбинированные. При позиционном управлении задаются начальное и конечное положения рабочих органов роботов, а их перемещение происходит "от точки к точке" в соответствии с заданной программой. В свою очередь, позиционные СУ делятся на малоточечные с числом точек позиционирования, не более восьмидесяти и многоточечные с числом программируемых позиций до нескольких сотен, ограниченным лишь объемом памяти и погрешностью позиционирования. 346

При контурном позиционировании положение рабочего органа определено в каждый момент времени, т.е. осуществляется непрерывное позиционирование с учетом модели внешней среды и внутреннего состояния кинематических цепей самого робота

В комбинированных СУ обеспечивается как позиционное, так и контурное управление. Так, например, в окрасочных и сварочных процессах для сокращения длительности цикла наведение рабочего органа промышленного робота в исходную позицию производится по упорам (позиционное управление), а при выполнении с их операций окраски и сварки применяется непрерывное контурное позиционирование.

По способу представления командной информации системы управления роботов разделяются на электромеханические, цикловые, аналоговые, числовые и гибридные. В электрических СУ геометрическая информация представлена в виде физического аналога - определенного положения упора, кулачка или копира, настройки реле времени и т.п. Информация о времени и последовательности может задаваться непереналаживаемыми схемами релейной автоматики. Электромеханические СУ наиболее просты и дешевы, но функциональные возможности их ограничены.

В системах циклового программного управления (ЦПУ) геометрическая информация задается упорами и соответствующими переключателями (штекерными, кнопочными и т.п.), а команды цикла - в виде чисел. Перестройка программы сводится к установке упоров и переключателей в определенные положения, а при использовании перфоленты - к установке ее вчитывающее устройство. Системы ЦПУ имеют небольшие габаритные размеры и стоимость и широко применяются для управления роботами с малым числом точек позиционирования.

В аналоговых СУ информация задается и хранится в виде потенциалов, а в качестве элементной базы используются решающие и операционные усилители постоянного тока. Системы аналогового управления по своей простоте, стоимости и функциональным возможностям близки к цикловым.

В системах числового программного управления (ЧПУ) вся информация задается в числовом виде и хранится на быстросменных программносителях - перфолентах, магнитных лентах или проволоках, магнитных барабанах или дисках и т.п. Системы ЧПУ

более сложны, но обеспечивают наилучшие функциональные возможности роботов и хорошо стыкуются с внешними электронно-вычислительными машинами.

В гибридных СУ используются сочетания различных способов представления информации с целью достижения тех или иных оптимальных характеристик управляющей системы робота

По способу программирования информации, обеспечивающей заданные действия робота, различаются три основных метода - расчет программ, или аналитическое программирование, методы обучения и самообучения.

Аналитическое программирование обеспечивает заблаговременную подготовку управляющей программы для роботов с позиционным и контурным управлением. Расчет программы осуществляется либо с применением обычных средств вычислительной техники, либо автоматически с использованием ЭВМ и средств автоматического программирования, либо с помощью устройства управления самого робота. Аналитическое программирование применяется, когда обучение оператором оказывается слишком трудоемким, затруднено получение полной информации или невозможно присутствие оператора при программировании.

Программирование обучением, применяемое для цикловых, позиционных и контурных СУ, в настоящее время широко используется для промышленных роботов. В зависимости от степени участия оператора этот метод программирования подразделяют на ручной, полуавтоматический и автоматический.

Ручной способ обучения предусматривает непосредственное участие оператора на всех этапах программирования - при формировании программы, преобразовании и вводе информации. Способ прост в исполнении, но отличается большой трудоемкостью и применяется преимущественно для ПР с цикловым управлением.

Полуавтоматический способ обучения характеризуется участием оператора в формировании программы и преобразовании информации. Ввод информации обеспечивает устройство управления по сигналу оператора, а фиксацию информации - конструкция запоминающего устройства. Полуавтоматическое обучение осуществляется с пульта управления либо путем механического эталонного перемещения исполнительного органа робота непосредственно оператором.

Автоматическое обучение выполняется полностью управляющим устройством с применением ЭВМ. Оператор при этом составляет лишь укрупненную программу и с помощью языка программирования выдает исходные данные управляющему устройству.

Программирование самообучением возможно для роботов с развитым сенсорным аппаратом и адаптивным управлением и осуществляется с частичным или полным самообучением.

Программирование с частичным самообучением предполагает выработку и сообщение роботу оператором отдельных элементов программы для определенных периодов его работы. Остальную часть программирования робот выполняет автономно на основании информации, полученной от сенсорных устройств.

Программирование с полным самообучением происходит без участия оператора. В этом случае устройство управления робота самостоятельно формирует рабочие программы с помощью систем автоматического программирования на основании информации, получаемой от информационно-измерительной системы.

По объему памяти, характеризующему возможное количество вводимой в процессе программирования информации в виде кадров, т.е. отдельных элементов программ, различаются СУ с малым, средним и большим объемом памяти.

Малый объем памяти - менее 100 кадров - имеют СУ с цикловым или позиционным управлением с небольшим количеством точек позиционирования и ограниченными технологическими возможностями.

Средний объем памяти - от 100 до 600 кадров - присущ СУ с развитыми позиционным и контурным управлениями. Технологические возможности таких СУ значительно шире.

Большой объем памяти - свыше 600 кадров - имеют СУ с развитыми контурным и адаптивным управлениями, обладающие наибольшими технологическими возможностями.

## **2.5 Практическое занятие № 5 (0,5 часа).**

**Тема:** «Информационные системы роботов»

### **2.5.1 Краткое описание проводимого занятия:**

Автоматизация различных технологических процессов, эффективное управление различными агрегатами, машинами, механизмами требуют многочисленных измерений разнообразных физических величин.

**Датчики** (в литературе часто называемые также измерительными преобразователями), или по-другому, **сенсоры** являются элементами многих систем автоматики - с их помощью получают информацию о параметрах контролируемой системы или устройства.

**Датчик** – это элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства, преобразующий контролируемую величину (температуру, давление, частоту, силу света, электрическое напряжение, ток и т.д.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, хранения, обработки, регистрации, а иногда и для воздействия им на управляемые процессы. Или проще, **датчик** – это устройство, преобразующее входное воздействие любой физической величины в сигнал, удобный для дальнейшего использования.

Используемые датчики весьма разнообразны и могут быть **классифицированы по различным признакам**:

**В зависимости от вида входной (измеряемой) величины** различают: датчики механических перемещений (линейных и угловых), пневматические, электрические, расходомеры, датчики скорости, ускорения, усилия, температуры, давления и др.

В настоящее время существует приблизительно следующее распределение доли измерений различных физических величин в промышленности: температура – 50%, расход (массовый и объемный) – 15%, давление – 10%, уровень – 5%, количество (масса, объем) – 5%, время – 4%, электрические и магнитные величины – менее 4%.

**По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина,** различают *незелектрические* и *электрические*: датчики постоянного тока (ЭДС или напряжения), датчики амплитуды переменного тока (ЭДС или напряжения), датчики частоты переменного тока (ЭДС или напряжения), датчики сопротивления (активного, индуктивного или емкостного) и др.

Большинство датчиков являются электрическими. Это обусловлено следующими достоинствами электрических измерений:

- электрические величины удобно передавать на расстояние, причем передача осуществляется с высокой скоростью;
- электрические величины универсальны в том смысле, что любые другие величины могут быть преобразованы в электрические и наоборот;
- они точно преобразуются в цифровой код и позволяют достигнуть высокой точности, чувствительности и быстродействия средств измерений.

**По принципу действия** датчики можно разделить на два класса: *генераторные* и *параметрические* (датчики-модуляторы). Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины в электрический сигнал.

Параметрические датчики входную величину преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра (R, L или C) датчика.

**По принципу действия** датчики также можно разделить на омические, реостатные, фотоэлектрические (оптико-электронные), индуктивные, емкостные и д.р.

#### **различают три класса датчиков:**

- аналоговые датчики, т. е. датчики, вырабатывающие аналоговый сигнал, пропорционально изменению входной величины;
- цифровые датчики, генерирующие последовательность импульсов или двоичное слово;
- бинарные (двоичные) датчики, которые вырабатывают сигнал только двух уровней: "включено/выключено" (иначе говоря, 0 или 1); получили широкое распространение благодаря своей простоте.

#### **Требования, предъявляемые к датчикам:**

- однозначная зависимость выходной величины от входной;

- стабильность характеристик во времени;
- высокая чувствительность;
- малые размеры и масса;
- отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс и на контролируемый параметр;
- работа при различных условиях эксплуатации;
- различные варианты монтажа.

**Параметрические датчики** (датчики-модуляторы) входную величину  $X$  преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра ( $R$ ,  $L$  или  $C$ ) датчика. Передать на расстояние изменение перечисленных параметров датчика без энергонесущего сигнала (напряжения или тока) невозможно. Выявить изменение соответствующего параметра датчика только и можно по реакции датчика на ток или напряжение, поскольку перечисленные параметры и характеризуют эту реакцию. Поэтому параметрические датчики требуют применения специальных измерительных цепей с питанием постоянным или переменным током.

**Омические (резистивные) датчики** – принцип действия основан на изменении их активного сопротивления при изменении длины  $l$ , площади сечения  $S$  или удельного сопротивления  $p$ :

$$R = p l / S$$

Кроме того, используется зависимость величины активного сопротивления от контактного давления и освещённости фотоэлементов. В соответствии с этим омические датчики делят на: *контактные, потенциометрические (реостатные), тензорезисторные, терморезисторные, фоторезисторные*.

**Контактные датчики** — это простейший вид резисторных датчиков, которые преобразуют перемещение первичного элемента в скачкообразное изменение сопротивления электрической цепи. С помощью контактных датчиков измеряют и контролируют усилия, перемещения, температуру, размеры объектов, контролируют их форму и т. д. К контактным датчикам относятся *путевые и концевые выключатели, контактные термометры* и так называемые *электродные датчики*, используемые в основном для измерения предельных уровней электропроводных жидкостей.

Контактные датчики могут работать как на постоянном, так и на переменном токе. В зависимости от пределов измерения контактные датчики могут быть одно предельными и многопредельными. Последние используют для измерения величин, изменяющихся в значительных пределах, при этом части резистора  $R$ , включенного в электрическую цепь, последовательно закорачиваются.

Недостаток контактных датчиков — сложность осуществления непрерывного контроля и ограниченный срок службы контактной системы. Но благодаря предельной простоте этих датчиков их широко применяют в системах автоматики.

**Реостатные датчики** представляют собой резистор с изменяющимся активным сопротивлением. Входной величиной датчика является перемещение контакта, а выходной – изменение его сопротивления. Подвижный контакт механически связан с объектом, перемещение (угловое или линейное) которого необходимо преобразовать.

Наибольшее распространение получила потенциометрическая схема включения реостатного датчика, в которой реостат включают по схеме делителя напряжения. Напомним, что делителем напряжения называют электротехническое устройство для деления постоянного или переменного напряжения на части; делитель напряжения позволяет снимать (использовать) только часть имеющегося напряжения посредством элементов электрической цепи, состоящей из резисторов, конденсаторов или катушек индуктивности. Переменный резистор, включаемый по схеме делителя напряжения, называют потенциометром.

Обычно реостатные датчики применяют в механических измерительных приборах для преобразования их показаний в электрические величины (ток или напряжение), например, в поплавковых измерителях уровня жидкостей, различных манометрах и т. п.

Датчик в виде простого реостата почти не используется вследствие значительной нелинейности его статической характеристики  $I_h = f(x)$ , где  $I_h$  - ток в нагрузке.

Выходной величиной такого датчика является падение напряжения  $U_{\text{вых}}$  между подвижным и одним из неподвижных контактов. Зависимость выходного напряжения от перемещения  $x$  контакта  $U_{\text{вых}} = f(x)$  соответствует закону изменения сопротивления вдоль потенциометра. Закон распределения сопротивления по длине потенциометра, определяемый его конструкцией, может быть линейным или нелинейным.

Потенциометрические датчики, конструктивно представляющие собой переменные резисторы, выполняют из различных материалов — обмоточного провода, металлических пленок, полупроводников и т. д.

**Тензорезисторы (тензометрические датчики)** служат для измерения механических напряжений, небольших деформаций, вибрации. Действие тензорезисторов основано на тензоэффекте, заключающемся в изменении активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов под воздействием приложенных к ним усилий.

## **2.6 Практическое занятие № 6 (0,5 часа).**

**Тема:** «Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы»

### **2.6.1 Краткое описание проводимого занятия:**

Существует, вообще говоря, два широкоиспользуемых и повсеместно признанных способа дистанционного управления автономными и полуавтономными устройствами:

Управление с помощью инфракрасных сигналов пульта ДУ (то же самое, что переключение каналов телевизора)

Управление по радио

Первый способ, в отношении управления роботом, реализуется с помощью простенькой схемки, которую даже я, не любитель паяльника, сумел спаять за полчаса - и программы WinLIRC, являющейся по сути Windows-драйвером для такой модели управления (подробности - на моем сайте, в разделе Датчики робота).

Управление по радио - широкоиспользуемая практика, модель такого управления вы можете выдрать из любой радиоуправляемой игрушки, или же найти в каком-либо журнале для радиолюбителей.

В последнее время получают все большее распространение и другие способы беспроводного управления. Конечно же, речь идет о технологиях Bluetooth и Wi-Fi, которые в настоящее время используются практически повсеместно в компьютерах, КПК, коммуникаторах, мобильных телефонах...

Модель управления роботом при использовании технологий Wi-Fi и Bluetooth в основном такая: непосредственно на роботе закрепляются мобильный телефон или КПК, которые, через определенную самопайную схему, могут отсылать роботу управляющие сигналы, и забирать показания датчиков. Основная «мозговая» деятельность - осуществляется на основном, стационарном, компьютере (иногда - даже с помощью распределенной сети серверов). Такой подход позволяет порой в несколько раз уменьшить вес робота и потребляемую им мощность.

Кстати, известен случай, когда на одной из мировых презентаций робота, тот в один прекрасный момент замер на месте - на несколько минут. Это случилось как раз из-за перегрузок Wi-Fi сети здания, где проходила презентация.

Еще один способ управления роботом - визуальный. В простейшем варианте - робот просто движется на свет. Кстати, вариацией этого способа можно считать задачу движения по линии. Но, конечно, такое визуальное управление не слишком функционально и не слишком интерактивно. Более сложные варианты включают в себя использование веб-камеры, закрепляемой на роботе, и анализ изображения, приходящего с камеры. Например, именно таким способом роботов учат распознавать человеческую мимику. Для реализации управления с помощью веб-камеры удобно использовать программное обеспечение RoboRealm, о котором я уже упоминал ранее.

Управление звуком - достаточно стандартная функция, для ее реализации можно использовать обычную ОС Windows Vista.

В настоящее время существуют также сенсоры, реализующие искусственное обоняние (читайте статью НАСА - на английском - о применении искусственного обоняния в космосе), давно созданы материалы, позволяющие реализовать чувствительную кожу (даже клавиатура для моего старенького Palm m505 сделана из однородного материала, чувствительного к прикосновению).

## **2.7 Практическое занятие № 7 ( 0,5 часа).**

**Тема: «Роботизированные технологические комплексы в машиностроении»**

### **2.7.1 Краткое описание проводимого занятия:**

Поскольку с развитием робототехники неизбежно формирование новых поколений роботов и внедрение их в новые области и сферы, классификация по назначению и решаемому классу задач не является завершенной и в известной мере характеризует путь развития роботов, а поэтому может быть названа также "эволюционной" (. По назначению и решаемому классу задач роботы всех поколений могут быть разделены на две большие группы: производственные и исследовательские.

Производственные роботы предназначены для выполнения тяжелой, монотонной, вредной и опасной для здоровья людей физической работы, а также отдельных видов

трудоемких, напряженных и утомительных умственных работ (проектирование, информационное обеспечение, управление).

Промышленные роботы, получившие наибольшее развитие в настоящее время, предназначены для автоматизации основных и вспомогательных операций в различных отраслях промышленности - машиностроении и приборостроении, горнодобывающей, нефтехимической, металлургической, атомной и ряде др.

Промышленные роботы, в свою очередь, подразделяются на три группы по производственно-технологическим признакам: производственные, или технологические (ППР), выполняющие основные операции технологических процессов; подъемно-транспортные, или вспомогательные (ПТПР), выполняющие вспомогательные действия типа "взять - перенести - положить"; универсальные (УПР), выполняющие различные (и основные, и вспомогательные) операции.

По специализации промышленные роботы подразделяются на специальные, выполняющие строго определенные технологические операции или обслуживающие конкретные модели технологического оборудования; специализированные, или целевые, предназначенные для выполнения технологических операций одного вида (сварка, сборка, окраска и т.п.) или для обслуживания определенной группы моделей технологического оборудования, объединенных общностью манипуляционных действий; универсальные, или многоцелевые, предназначенные для выполнения как основных, так и вспомогательных технологических операций различных видов и с различными группами моделей технологического оборудования.

Так как современное строительство по степени и стилю механизации приближается к промышленности, строительные роботы могут быть включены в эту группу. Они предназначены для автоматизации строительного производства, которому органически присуще огромное количество ручных операций, как вспомогательных, так и основных. В настоящее время в строительном производстве находят применение различные манипуляторы с управлением оператором, а также промышленные роботы для производства строительных материалов. Создание роботов для выполнения основных строительных операций, например, монтажа зданий и сооружений - дело будущего и требует, по-видимому, кардинального пересмотра строительных технологий. Во всяком случае при разработке и создании таких роботов придется преодолеть ряд трудностей, в частности, решить проблемы обеспечения больших грузоподъемностей и оснащения роботов совершенными системами очувствления и адаптации в условиях крайне неорганизованной среды их функционирования.

Сельскохозяйственные роботы предназначены для автоматизации трудоемких и монотонных процессов в сельскохозяйственном производстве, традиционно требующем значительных затрат труда. Помимо операции доения, наиболее автоматизированной в последние годы, становится возможным создание специальных транс-портно-технологических средств, например, тракторов, управляемых без водителей и используемых для сева, вспашки, внесения удобрений, опрыскивания посевов, обрезания лишних побегов и т. д.

Как сообщалось, во Франции был разработан мобильный робот, предназначенный для автоматического удаления лишних побегов виноградной лозы, а японская фирма "Toshiba" уже выпускает необычного робота-садовода, который может сажать молодые деревья, подрезать ветки и т.д. Двумя "пальцами" он схватывает растение, а специальные присосы исключают поломку веток. Японские ученые, однако, считают "садовода" еще недостаточно совершенным, а потому новое поколение роботов-садоводов полностью исключит вмешательство человека в такие процессы, как подрезка деревьев и кустарников, пересадка и даже опыление цветов.

Весьма актуальной, хотя на первый взгляд и фантастической, является задача создания роботов для ухода за животными, пастьбы скота и т.п. Например, Австралийская

шерстяная корпорация в условиях жесткой конкуренции приняла долгосрочную программу поиска эффективных средств стрижки овец и после глубокого изучения проблемы пришла к выводу, что наиболее обещающим является применение роботов. Исследования по программе автоматизированной стрижки привели к разработке в Мельбурнском университете техники для автоматического отлова овец, размещения и удерживания их в люльке, подачи в робототехническую машину для стрижки; многими научными коллективами ведутся дальнейшие работы по совершенствованию системы очувствления и адаптации.

Неожиданное приложение идеи роботизации сельскохозяйственного производства нашла одна из японских фирм, создав роботизированное пугало "Тэгаку" для защиты садов и ягодников от птиц в период созревания и уборки урожая. Робот-пугало, ростом 175 см с "руками", "ногами" и "головой", с помощью видеокамеры фиксирует приближение стаи или отдельных птиц, включает магнитофонную запись с криками хищных птиц и тревожных криков их пернатых жертв. Одновременно робот начинает размахивать "руками" с прикрепленными к ним флагжками и двигаться по дорожкам, автоматически останавливаясь после исчезновения птиц. Пугало работает автоматически, энергия поступает от встроенных солнечных батарей.

Транспортные роботы предназначены для автоматизированного транспортирования объектов, а также для управления различными транспортными системами. Исследования и разработки по созданию транспортных роботов интенсивно ведутся во всем мире. При этом выделяются четыре принципиально различных типа - наземные, воздухоплавающие, водоплавающие и подземные. Теория и практика трех последних типов не достигли еще в целом того уровня, чтобы говорить о них сегодня как о всеобщей реальности.

Практическое развитие получили ныне наземные транспортные роботы, которые могут быть колесными, шагающими и гусеничными.

Наибольшее развитие и распространение в настоящее время получили колесные транспортные роботы, используемые достаточно широко в промышленных автоматизированных транспортно-складских системах и гибких автоматизированных производствах в виде мобильных автоматических кранов, автоматических управляемых тележек (АУТ), робокаров и др., оснащаемых во многих случаях различными манипуляционными устройствами. В самом простом виде такие роботы следуют по рельсам либо по маршруту над кабелем, проложенным под поверхностью пола. Генератор частоты, подавая ток по кабелю, создает магнитное поле, улавливаемое двумя датчиками приемного устройства тележки, направляющими ее по требуемому маршруту. Даже такие простые системы АУТ позволяет включать маршруты с несколькими ветвями и петлями посредством использования различных частот для каждого пути. В более сложном варианте тележка оборудуется автономной управляющей ЭВМ и средствами очувствления.

В рамках программы по созданию транспортных очувствленных роботов в университете "Carnegie-Mellon" (США) создан робот "Террегейт" (землепроходец), предназначенный для автономного передвижения вне помещений на значительные расстояния, оснащенный бортовой ЭВМ и мощным сенсорным аппаратом, в том числе и системой технического зрения.

Калифорнийская фирма "Odetics" создала управляемый на расстоянии мобильный автономный шестиногий робот "Odex-1", названный фирмой "функционоидом" и способный, шагая по местности, преодолевать уступы до 1 м, а с помощью манипуляторов поднимать груз, массой до 1 т, и транспортировать его. Следует заметить, что "функционоид", разработка которого обошлась в 1 млн. дол., предназначен для военных целей - обезвреживания бомб, несения караульной службы, минирования и разминирования местности, а также различных действий на поле боя. Несомненно, что подобный мобильный робот может оказаться незаменимым средством для осуществления спасательных работ и ликвидации последствий аварий в зонах и местностях,

труднодоступных или опасных для человека по причине радиационного или химического заражения, высоких температур и др.

Работы специального назначения служат для выполнения различного вида ремонтных, восстановительных и спасательных работ в экстремальных условиях и ситуациях, а также предупреждения аварий, стихийных бедствий и ликвидации их последствий. Разработка таких роботов направлена на решение важных проблем безопасности и сохранности человека и среды его обитания, а поэтому является не только крайне актуальной, но и благородной задачей.

Сфера конкретного применения специальных роботов весьма многообразны - это профилактические, ремонтные и спасательные работы в экстремальных условиях (например, на ядерных реакторах АЭС, надводных и подводных судов, предприятий); обеззараживание помещений, сооружений и местности от радиоактивных, химических, биологических и других выбросов; обезвреживание различных взрывчатых устройств; поиск и спасение людей при авариях и стихийных бедствиях; борьба с пожарами, активный контроль и предупреждение людей о стихийных бедствиях и авариях, ликвидация их последствий; борьба с терроризмом и организованной преступностью; несение активной патрульной службы и многое другое.

Известно, что для ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС были разработаны и использованы робототехнические устройства как в виде радиоуправляемых бульдозеров, так и специальных роботов для обеззараживания прилегающей местности, крыши и здания аварийного блока АЭС. И хотя срочность заказа и сжатые сроки разработки не позволили создать совершенные конструкции, тем не менее роботы сыграли свою роль.

Разработка и создание более совершенного робота для аварийных ситуаций на АЭС ведется в сотрудничестве между нашими и югославскими учеными с 1989 г. в лаборатории крупного специалиста в области биомеханики и робототехники профессора Миомира Вукобратовича. Шагающий "многоногий" робот оснащается специальным манипулятором, системой технического зрения, сенсорикой и системой управления, позволяющими ему эффективно функционировать в крайне нетипичных ситуациях.

Японские специалисты создали робота-пожарного, способного с помощью ультразвуковых датчиков и лазерных сенсоров не только обнаруживать очаги пожаров, но и "видеть" встречающиеся на пути препятствия и бороться с огнем с помощью специальной жидкости, направляемой под давлением из двух стволов. Специальное изоляционное покрытие позволяет "пожарному" работать в течение 3 мин при температуре 800° С.

Министерство внешней торговли и промышленности Японии проводит в жизнь программу по созданию специального робота для особо опасных работ - борьбы с сильными пожарами, устранения аварий на ядерных реакторах и операций в океанских глубинах. Этот "суперробот", по внешнему виду отдаленно напоминающий кентавра с парой мощных рук-манипуляторов и небольшой "головой" с чувствительными глазами-телекамерами, посаженной на гибкую механическую "шею", способен выдерживать сверхвысокие температуры и значительное давление. Устойчивая связь с аппаратом поддерживается с помощью лазерной системы, а сам он наделяется искусственным интеллектом, позволяющим принимать самостоятельные решения в экстремальных ситуациях для наиболее эффективного выполнения поставленных ему задач.

Еще одна интересная разработка по созданию специального робота, способного действовать при непредвиденных обстоятельствах в опасной для человека обстановке, ведется в рамках программы "Эврика" рядом западноевропейских стран. Ученые из Италии, Франции и Испании разрабатывают модель автономного мобильного робота (AMP), предназначенную для действия в критических ситуациях - при технологических катастрофах (например, на АЭС), стихийных бедствиях, пожарах, при угрозе крупных террористических актов. В зараженной местности будет действовать AMP, защищенный

дополнительным слоем искусственной "кожи", которую впоследствии при обеззараживании он самостоятельно ликвидирует. Робот наделяется искусственным интеллектом: он сможет легко передвигаться по территории, пострадавшей от стихийного бедствия или аварии, с помощью мощной информационно-управляющей системы воспринимать окружающую обстановку и оценивать ее изменения. Наиболее совершенный вариант разработки будет состоять из двух взаимодействующих совместно роботов AMP-1 и AMP-2.

Неожиданные области применения специальных роботов открываются в связи с изобретением японских ученых, позволяющим анализировать и кодировать запахи. Под руководством профессора Токийского института технологии Тоёсаки Морицуми создан робот, способный распознавать запахи, что открывает многообещающие возможности использования таких разработок в пищевой промышленности, косметике, парфюмерии, медицине, таможенном и сыскном деле.

Как видим, сферы применения специальных роботов весьма многообразны, и научный поиск в этом направлении продолжается весьма интенсивно.

Бытовые роботы предназначены для автоматизации различных операций как непосредственно в быту человека, так и в сфере обслуживания. Эти работы призваны реализовать важнейшую социальную задачу общества - высвобождение времени человека для духовной жизни.. Создание бытовых роботов - весьма сложная научная и инженерная задача, так как здесь необходимы гибкие универсальные системы, т.е. очувствленные роботы с элементами интеллекта, способные самостоятельно выполнять различные на первый взгляд простые работы - приготовление пищи, мытье посуды, уборку помещений, шитье и ремонт одежды, уход за детьми, обучение различным навыкам, развлечение людей и пр., но совершенно не поддающиеся жесткой регламентации.

Все более расширяется применение средств робототехники в производстве предметов одежды и пищевой индустрии. В Японии, например, разработаны роботы для кройки и пошива одежды, на базе которых создается безлюдное производство. Государственным колледжем в Лондоне разрабатываются методы автоматической разделки мяса. Робот, заменяющий человека, должен сначала определить местоположение различных костей с помощью специального сенсорного устройства, чтобы затем посредством рабочего органа в виде режущей петли, расположенного на конце руки-манипулятора, начать отделение мясной массы.

Большим спросом будут пользоваться домашние роботы. Даже при совершенных научно-технических возможностях разработка и создание очувствленных аппаратов, которые могли бы помогать человеку в домашних заботах,- охране дома, работе на приусадебном участке и т.п., - вполне реальная задача. Так, президент фирмы "Unimation" Джозеф Энгельбергер сообщил о создании в рекламных целях робота по имени "Айзек", подающего кофе посетителям в офисе фирмы. В Великобритании разработан робот "Ровер", призванный заменить сторожевую собаку. Оснащенный совершенными сенсорикой и системой управления этот робот посредством датчиков чутко "прислушивается" ко всем наружным шумам, а в случае попыток проникновения посторонних в дом разразится громким лаем, одновременно сделав сообщение в ближайший полицейский участок. "Ровер" выполняет также функцию противопожарного устройства, поднимая тревогу при первых признаках утечки газа. Во Франции, в вестибюле станции парижского метро "Нотр-Дам", прошли успешные испытания робот-чистильщика, оснащенного системами сухой и влажной уборок. Бортовой компьютер и система ультразвуковой локации позволяют роботу во время работы вежливо обходить людей, не падать по пути и даже подниматься по эскалатору.

В последние годы все большее применение находят робототехнические устройства для развлечений и забаа С одной стороны, они имеют чисто прикладное значение, пользуясь все возрастающим спросом не только у детей, но и взрослых, с другой - помогают исследователям выходить на новые решения, оттачивать оригинальные разработки в ходе

создания разнообразных "забавных" моделей. Широкую известность получили, например, различные шахматные автоматы. Интересен робот по имени "Кубот", созданный американским ученым Бэттлом для игр в кубик Рубика. Определив, в каком состоянии находятся грани куба, робот, используя специальный алгоритм, заложенный в его память, с помощью рук-манипуляторов выполняет необходимые движения до тех пор, пока не возвратит каждой грани один цвет. При этом даже на самый запутанный вариант он затрачивает не более 3 минут.

Формируется перспективная концепция создания робототехнических игр, когда микророботы, собранные играющими по принципу известной игры "Конструктор", соревнуются между собой, например, в прохождении лабиринта ("Микромышь" Джона Билингсли), переноске грузов и даже в игре в настольный теннис. Робототехнические игры, таким образом, могут стать одним из многообещающих направлений развития бытовых роботов.

Одной из наиболее привлекательных и благородных сфер приложения бытовых роботов является оказание помощи инвалидам. Примером такой разработки является исследование, проводимое в Токийском университете, где создают "двурукого" робота-няню, способного выполнять целый набор задач - от снятия телефонной трубки до накрывания стола.

Другой японский проект, разрабатываемый с 1977 г. в лаборатории механики (г. Цукуба), ставит целью создание робота-поводыря для утративших зрение. Движущийся колесный робот "Мелдог" ( 2.6), посылая ультразвуковые импульсы, обнаруживает и опознает препятствия на своем пути, а бортовой компьютер сравнивает полученную информацию с заложенной в памяти топографической картой данного района. Таким образом, робот, получая представление о том, что происходит в ближайшем окружении, способен заметить, например, движущийся автомобиль или другое транспортное средство вблизи перекрестка, который намерен перейти слепой. Кроме того, робот оснащен оптическим датчиком для сбора информации о встречающихся на его пути ориентирах и передачи для анализа в компьютер. "Мелдог" управляет владельцем через электрический соединительный шнур, а посылаемые роботом электрические импульсы поступают на электроды пульта управления, с которыми контактируют пальцы человека. Импульсы посыпаются в соответствии со специальным кодом, освоив который слепой следует правильным путем, избегая опасных столкновений.

Обширная область применения открывается перед робототехникой в здравоохранении и медицине - это обучение физическим упражнениям, физиотерапия, хирургия, протезирование и т.п. Незаменимым помощником для тренеров горнолыжного спорта может стать разработанный профессором из г. Ниигата Мотиоси Миура "Роботаро" - электронный лыжник, способный по заданной программе наглядно демонстрировать элементы движения и самых сложных маневров горнолыжников, определять рациональную программу спуска.

В клинике университета японского города Кобе в качестве ассистента врача-физиотерапевта "трудится" робот, помогая осуществлять программу восстановления у пациентов функций поврежденных и больных суставов и мышц. При проведении лечебной гимнастики для поврежденной конечности робот использует свою гибкую и подвижную "руку", с помощью которой выполняет специальные упражнения сустава и сравнивает результаты с предварительно заложенной в его память программой лечебной тренировки, выдавая результаты на экран дисплея. Особенно подкупает больных "общительность" робота, который задает темп и ведет счет упражнениям. На решение, казалось бы, совершенно фантастической задачи мобилизованы лучшие силы ряда университетов Японии, а также мощных корпораций "Hitachi", "Sumitomo Donki" и др. по созданию микроскопического робота-хирурга, способного самостоятельно передвигаться по внутренним каналам человеческого организма, умеющего отыскивать пораженные участки, удалять раковые клетки и производить другие сложные операции. "Если такой

микроробот будет создан, то это может вызвать настоящую революцию в медицине", - считает один из разработчиков программы профессор Токийского университета Ивао Фудзимаса.

Дальнейшее совершенствование и повседневное использование бытовых роботов находятся в прямой зависимости от успехов в области разработки систем искусственного интеллекта.

Роботы-проектировщики предназначены для автоматического расчета и проектирования машин и сооружений, разработки технологических процессов, систем управления, информационного обеспечения и т.п. В настоящее время они существуют лишь в виде отдельных систем автоматизированного проектирования (САПР), еще далеких от совершенства, но интенсивно развивающихся.

Проблема роботизированного проектирования (проектирования с помощью роботов) становится особенно актуальной в связи с разработкой и созданием гибких производственных систем, состоящих из нескольких роботизированных модулей и содержащих столь много переменных, что человеку-проектировщику становится не под силу увязать их между собой. Идеальным инструментом для решения таких задач проектирования становится моделирование на компьютере с помощью роботов.

Примером такого робота-проектировщика может служить система "GRASP" (Graphical Robot Application Simulation Package - пакет программ для графического моделирования работ с помощью робота), созданная в Ноттингемском университете (Великобритания). Путем анализа и оценки большого массива исходных данных и параметров система позволяет устраниТЬ противоречия и обеспечить оптимальную планировку рабочего оборудования роботизированного модуля ГПС с выдачей графического изображения.

Дальнейшее развитие роботизированного проектирования в гибких автоматизированных производствах предполагает оснащение их системами, обозначаемыми по международной терминологии: CAD (Computer - aided Design - компьютерная система проектирования) - аналог отечественной системы автоматизированного проектирования; CAM (Computer - aided Manufacturing - компьютерная система производства) - аналог отечественной автоматизированной системы управления техническими процессами (АСУТП); CAI (Computer - aided Inspection - компьютерная система контроля).

В таких единых интегрированных системах CAD-CAM-CAI, или то же что CAD-MAT (MAT - Manufacturing and Testing - изготовление и контроль) роботам-проектировщикам отводится важная роль.

Исследовательские роботы - это роботы, предназначенные для поиска, сбора, переработки и передачи информации об исследуемых объектах,. Такими объектами могут быть труднодоступные, а также недоступные для человека сферы - космическое пространство, океанские глубины, недра Земли, экстремальные лабораторные условия и т.п. - либо области, где требуются выявление, переработка и анализ огромных количеств информации, например, информационный поиск и разведка, искусство и литература.

Ярким примером современных исследовательских роботов являются автоматические аппараты для исследования космоса и планет, или космические роботы. На протяжении уже многих лет мы являемся свидетелями штурма космоса семейством очувств-ленных роботов. В октябре 1959 г. с помощью советской автоматической станции "Луна-3" впервые удалось сфотографировать обратную сторону Луны, что явилось началом прямого изучения лунной поверхности. Советский космический аппарат автоматической станции "Луна-16" 24 сентября 1970 г. доставил на Землю образцы лунного грунта.

Аналогичная операция была проведена в феврале 1972 г. автоматической станцией "Луна-20". Очувствленные космические роботы "Луноход-1" (1970 г.) и "Луноход-2" (1973 г.), доставленные на поверхность Луны автоматическими станциями "Луна-17" и "Луна-21" и управляемые человеком-оператором в супервизорном режиме, получили и передали на Землю ценнейшую информацию о лунной поверхности.

Первый в истории человечества очувствленный космический робот "Луноход-1" ( 2.7) имел довольно сложный сенсорный аппарат с элементами искусственного зрения в виде бортовых стереоскопических телевизионных камер, совершенную двигательную систему в виде 8-колесного шасси с автономно управляемыми мотор-колесами и манипулятор для взятия проб грунта, что позволило ему выполнить сложную программу перемещений и исследований на поверхности Луны.

Космические роботы вошли в состав посадочных модулей американских автоматических лунных аппаратов серии "Сервойер". Каждый такой робот, оснащенный рукой-пантомографом с рабочим органом в виде экскаваторной лопаты, способен с целью забора лунного грунта копать траншею на расстоянии 1 м от посадочного модуля.

В июле 1976 г. на поверхность Марса был доставлен американский космический робот-лаборатория "Викинг" ( 2.8). В отличие от "Луноходов" этот аппарат стационарный, но тоже снабжен манипулятором с грунтозаборным устройством, успешно работавшим более двух лет, на протяжении которых поддерживалась связь с Землей.

Эти выдающиеся эксперименты имели большое значение не только для космических исследований, но и для развития робототехники, они показали, насколько сложным и, казалось бы, невыполнимым может быть задание, даваемое космическому роботу.

По прогнозу известного специалиста, руководителя программы по автономным системам и космической механике (Лаборатория реактивного движения, США), Эвальда Хиера, дальнейшее развитие космических роботов и манипуляторов будет осуществляться в следующих 4-х направлениях: 1) исследовательские системы, 2) глобальные и обслуживающие комплексы, 3) системы "индустриализации" космоса, 4) транспортные системы.

Теперь одним из самых совершенных "обслуживающих" космических роботов следует считать дистанционно управляемую манипуляционную систему (ДУМС) ( 2.9) транспортного космического корабля многоразового использования "Спейс Шаттл", разработанную канадскими учеными по заказу Национального управления по аeronавтике и исследованию космического пространства (НАСА) США; она предназначена для съема с орбиты различных грузов и объектов с помощью манипуляторов с шестью степенями подвижности, радиусом действия 15,2 м и грузоподъемностью около 30 т (!), а также для производства ремонтных и аварийных работ, для чего манипулятор оборудован двумя телекамерами. Системой управления ДУМС предусмотрено несколько режимов управления: от ручного - с пульта кормового поста корабля "Спейс Шаттл", до автоматического - по программе, заложенной экипажем на Земле или уже в космосе. Подобные манипуляторы для съема отработавших спутников с орбит и обслуживания космических кораблей разработан также в нашей стране.

С наступлением в обозримом будущем эпохи создания и использования стационарных космических станций следует ожидать новых достижений в области космической робототехники. Интересна разработка, представленная коллективом специалистов США, работающих над космической программой "АРАМИС". Дистанционно пилотируемый обслуживающий модуль (ДПОМ) ( 2.10) оснащен четырьмя манипуляторами, два из которых, предназначенные для работы с объектами, размещены на лицевой стороне модуля, а два других, менее мощных, используемых для причаливания к объекту, расположены по бокам. Ниже манипуляторов смонтирована полка со специализированными рабочими органами, а под ней - стеллаж с запасными частями, предназначенными для обслуживания и ремонта объекта. Телевизионные камеры установлены по центру робота и над "Иллечевыми суставами"

Такой космический робот предназначен для технического обслуживания космических аппаратов и способен выполнять операции в космосе не хуже человека. В основу его управления положен принцип "дистанционного присутствия", согласно которому оператор может управлять с Земли действиями модуля в космосе так, как если бы он находился на его борту. Два манипулятора захватывают на орбите спутник, вышедший из

строя, а два других выполняют ремонтные работы. Для доставки обслуживающего модуля к рабочему месту разработан транспортный космический робот, так называемый маневрирующий орбитальный аппарат (МОА).

Исследования и разработки, направленные на создание и совершенствование космических роботов, бедутся во всех ведущих промышленных странах; с середины 1990-х гг.

предполагается внедрение в конструкции космических аппаратов новейших средств искусственного интеллекта, обеспечивающих возможность адаптивного управления космическими роботами.

В связи с нарастающим интересом к освоению ресурсов мирового океана во всем мире создаются подводные роботы, предназначенные для исследования и освоения подводных глубин. Исследование и освоение океанских глубин так же, как и космоса, связано с тяжелыми и опасными для человека условиями, поэтому применение подводных роботов является одним из магистральных направлений в решении этих проблем.

полезных ископаемых, поиске и подъеме затонувших судов, ведении спасательных работ, а также освоении животных и растительных ресурсов подводных глубин. По своеобразной прогнозной классификации специалиста Центра океанских систем ВМС США (штат Калифорния) Скотта Хармона, развитие подводных автоматических аппаратов будет формироваться в трех направлениях: 1) роботы, ползающие по океанскому дну на довольно значительные расстояния, предназначенные для разведки и добычи полезных ископаемых, осуществления поисковых работ, осмотра, укладки или ремонта кабелей и трубопроводов и т.п. ("Крабы"); 2) роботы, перемещающиеся в толще воды на сравнительно небольшие расстояния, оснащенные несколькими манипуляторами и предназначенные для осмотра, технического обслуживания и ремонта подводных частей судов и сложных сооружений (например, буровых установок), восстановительных и спасательных работ на затонувших судах и т.п. ("Осьминоги"); 3) роботы, плавающие в толще воды на значительные расстояния, оснащенные мощными и дальнодействующими сенсорными устройствами и системами связи, способные перемещаться с очень большой скоростью и предназначенные для визуального осмотра, наблюдения, гидрографической съемки и т.п. ("Акулы").

В зависимости от характера связи с надводным судном подводные роботы делятся на автономные и неавтономные (привязные).

К настоящему времени в мире создано более 100 подводных автоматических аппаратов различного назначения, снабженных манипуляторами. Одним из первых отечественных подводных роботов был созданный в 1968 г. Институтом океанологии АН СССР совместно с Ленинградским политехническим институтом и другими вузами исследовательский телеконтролируемый от ЭВМ аппарат "Манта" (типа "Осьминог") с очувствленным захватным устройством, оснащенный двумя гидравлическими манипуляторами грузоподъемностью 50 кг с семью степенями подвижности каждый. Система управления и сенсорный аппарат робота позволяли брать объект, указанный оператором на телекране; переносить его ближе к "телеглазу" для изучения либо укладывать в бункер, а также выполнять поиск объектов вслепую (на ощупь) в случае потери видимости из-за замутненной воды.

Специалистами из Японского центра научно-технических исследований моря (г. Йокосука) создан ряд дистанционно управляемых глубоководных роботов "Долфин" (2.11) с глубиной погружения до 3300 м ("Долфин-ЗК"), предназначенных для осмотра подводных сооружений, сбора образцов и ведения геологической разведки на океанском дне ("Краб"); предполагается также использование его в качестве исследовательского зонда для обитаемого подводного аппарата "Синкай-2000". Для связи с надводным судном, приема команд и передачи информации на поверхность используется волоконно-оптический кабель, имеющий значительно большую информационную пропускную способность, чем традиционные мерные проводники.

В последние годы усилия исследователей и разработчиков обращены на создание автономных подводных роботов, наделенных совершенными управляющими системами и искусственным интеллектом. Такие роботы, способные плавать или перемещаться, минуя препятствия, самостоятельно возвращаться на базу, обладают большой эффективностью и универсальностью, их не сдерживает тяжелый соединительный кабель.

Управляемые компьютерами автономные очувствленные подводные аппараты канадской фирмы "ISE" (International Submarin Engineering), ведущей в мире, хотя и имеют высокую начальную стоимость (1-2 млн. дол.), но существенно дешевле в эксплуатации, чем привязные аппараты, так как не требуют постоянного присутствия высококвалифицированного инженера-оператора. Они способны самостоятельно в соответствии с заложенным в компьютерную память маршрутом плавать в обширном районе океана ("Акула"), разведывая с помощью телекамер и акустических датчиков месторождения различных ископаемых, обнаруживая повреждения в трубопроводах и кабелях связи и др., и возвращаться после выполнения задания на базу.

Робот фирмы "ARCS" (Autonomous Remote Controlled Submersible - автономный дистанционно управляемый подводный аппарат) может плавать со скоростью 8 км/ч на глубине до 300 м, питаясь от аккумуляторных батарей и передавая информацию по акустической линии связи. Другой подводный робот канадской фирмы - гидографическая система "DOLPIN" (Deep Ocean Logging Platform Instrument for Navigation - глубоководная океанская навигационная платформа) опускается лишь на 5 м ниже уровня воды, но передвигается со скоростью до 24 км/ч, поддерживая связь с оператором с помощью радиосигналов, передаваемых посредством специальной антенны-шноркеля, выступающей из воды и служащей одновременно для забора атмосферного воздуха, необходимого дизельному двигателю аппарата.

Несмотря на научно-технические и финансовые трудности, программы создания новых и совершенствования существующих автономных роботов осуществляются довольно успешно.

## **2.8 Практическое занятие № 8 (2 часа).**

**Тема:** «Вспомогательное оборудование РТК»

### **2.8.1 Краткое описание проводимого занятия:**

Поскольку с развитием робототехники неизбежно формирование новых поколений роботов и внедрение их в новые области и сферы, классификация по назначению и решаемому классу задач не является завершенной и в известной мере характеризует путь развития роботов, а поэтому может быть названа также "эволюционной" (. По назначению и решаемому классу задач роботы всех поколений могут быть разделены на две большие группы: производственные и исследовательские.

Производственные роботы предназначены для выполнения тяжелой, монотонной, вредной и опасной для здоровья людей физической работы, а также отдельных видов трудоемких, напряженных и утомительных умственных работ (проектирование, информационное обеспечение, управление).

Промышленные роботы, получившие наибольшее развитие в настоящее время, предназначены для автоматизации основных и вспомогательных операций в различных отраслях промышленности - машиностроении и приборостроении, горнодобывающей, нефтехимической, металлургической, атомной и ряде др.

Промышленные роботы, в свою очередь, подразделяются на три группы по производственно-технологическим признакам: производственные, или технологические (ППР), выполняющие основные операции технологических процессов; подъемно-транспортные, или вспомогательные (ПТПР), выполняющие вспомогательные действия типа "взять - перенести - положить";

универсальные (УПР), выполняющие различные (и основные, и вспомогательные) операции.

По специализации промышленные роботы подразделяются на специальные, выполняющие строго определенные технологические операции или обслуживающие конкретные модели технологического оборудования; специализированные, или целевые, предназначенные для выполнения технологических операций одного вида (сварка, сборка, окраска и т.п.) или для обслуживания определенной группы моделей технологического оборудования, объединенных общностью манипуляционных действий; универсальные, или многоцелевые, предназначенные для выполнения как основных, так и вспомогательных технологических операций различных видов и с различными группами моделей технологического оборудования.

Так как современное строительство по степени и стилю механизации приближается к промышленности, строительные роботы могут быть включены в эту группу. Они предназначены для автоматизации строительного производства, которому органически присуще огромное количество ручных операций, как вспомогательных, так и основных. в настоящее время в строительном производстве находят применение различные манипуляторы с управлением оператором, а также промышленные роботы для производства строительных материалов. Создание роботов для выполнения основных строительных операций, например, монтажа зданий и сооружений - дело будущего и требует, по-видимому, кардинального пересмотра строительных технологий. Во всяком случае при разработке и создании таких роботов придется преодолеть ряд трудностей, в частности, решить проблемы обеспечения больших грузоподъемностей и оснащения роботов совершенными системами очувствления и адаптации в условиях крайне неорганизованной среды их функционирования.

Сельскохозяйственные роботы предназначены для автоматизации трудоемких и монотонных процессов в сельскохозяйственном производстве, традиционно требующем значительных затрат труда. Помимо операции доения, наиболее автоматизированной в последние годы, становится возможным создание специальных транс-портно-технологических средств, например, тракторов, управляемых без водителей и используемых для сева, вспашки, внесения удобрений, опрыскивания посевов, обрезания лишних побегов и т. д.

Как сообщалось, во Франции был разработан мобильный робот, предназначенный для автоматического удаления лишних побегов виноградной лозы, а японская фирма "Toshiba" уже выпускает необычного робота-садовода, который может сажать молодые деревья, подрезать ветки и т.д. Двумя "пальцами" он схватывает растение, а специальные присосы исключают поломку веток. Японские ученые, однако, считают "садовода" еще недостаточно совершенным, а потому новое поколение роботов-садоводов полностью исключит вмешательство человека в такие процессы, как подрезка деревьев и кустарников, пересадка и даже опыление цветов.

Весьма актуальной, хотя на первый взгляд и фантастической, является задача создания роботов для ухода за животными, пастбищ скота и т.п. Например, Австралийская шерстяная корпорация в условиях жесткой конкуренции приняла долгосрочную программу поиска эффективных средств стрижки овец и после глубокого изучения проблемы пришла к выводу, что наиболее обещающим является применение роботов. Исследования по программе автоматизированной стрижки привели к разработке в Мельбурнском университете техники для автоматического отлова овец, размещения и удерживания их в люльке, подачи в робототехническую машину для стрижки; многими научными коллективами ведутся дальнейшие работы по совершенствованию системы очувствления и адаптации.

Неожиданное приложение идеи роботизации сельскохозяйственного производства нашла одна из японских фирм, создав роботизированное пугало "Тэгаку" для защиты садов и ягодников от птиц в период созревания и уборки урожая. Робот-пугало, ростом 175 см с

"руками", "ногами" и "головой", с помощью видеокамеры фиксирует приближение стаи или отдельных птиц, включает магнитофонную запись с криками хищных птиц и тревожных криков их пернатых жертв. Одновременно робот начинает размахивать "руками" с прикрепленными к ним флагжками и двигаться по дорожкам, автоматически останавливаясь после исчезновения птиц. Пугало работает автоматически, энергия поступает от встроенных солнечных батарей.

Транспортные роботы предназначены для автоматизированного транспортирования объектов, а также для управления различными транспортными системами. Исследования и разработки по созданию транспортных роботов интенсивно ведутся во всем мире. При этом выделяются четыре принципиально различных типа - наземные, воздухоплавающие, водоплавающие и подземные. Теория и практика трех последних типов не достигли еще в целом того уровня, чтобы говорить о них сегодня как о всеобщей реальности.

Практическое развитие получили ныне наземные транспортные роботы, которые могут быть колесными, шагающими и гусеничными.

Наибольшее развитие и распространение в настоящее время получили колесные транспортные роботы, используемые достаточно широко в промышленных автоматизированных транспортно-складских системах и гибких автоматизированных производствах в виде мобильных автоматических кранов, автоматических управляемых тележек (АУТ), робокаров и др., оснащаемых во многих случаях различными манипуляционными устройствами. В самом простом виде такие роботы следуют по рельсам либо по маршруту над кабелем, проложенным под поверхностью пола. Генератор частоты, подавая ток по кабелю, создает магнитное поле, улавливаемое двумя датчиками приемного устройства тележки, направляющими ее по требуемому маршруту. Даже такие простые системы АУТ позволяет включать маршруты с несколькими ветвями и петлями посредством использования различных частот для каждого пути. В более сложном варианте тележка оборудуется автономной управляющей ЭВМ и средствами ощущения.

В рамках программы по созданию транспортных ощущенных роботов в университете "Carnegie-Mellon" (США) создан робот "Terregейт" (землепроходец), предназначенный для автономного передвижения вне помещений на значительные расстояния, оснащенный бортовой ЭВМ и мощным сенсорным аппаратом, в том числе и системой технического зрения.

Калифорнийская фирма "Odetics" создала управляемый на расстоянии мобильный автономный шестиногий робот "Odex-1", названный фирмой "функционидом" и способный, шагая по местности, преодолевать уступы до 1 м, а с помощью манипуляторов поднимать груз, массой до 1 т, и транспортировать его. Следует заметить, что "функционид", разработка которого обошлась в 1 млн. дол., предназначен для военных целей - обезвреживания бомб, несения караульной службы, минирования и разминирования местности, а также различных действий на поле боя. Несомненно, что подобный мобильный робот может оказаться незаменимым средством для осуществления спасательных работ и ликвидации последствий аварий в зонах и местностях, труднодоступных или опасных для человека по причине радиационного или химического заражения, высоких температур и др.