

ПРЕДИСЛОВИЕ

К настоящему времени издано немало научных работ, учебников и учебных пособий по теории, проектированию и расчету роботов, роботизированных комплексов и систем, однако учебников, специально посвященных применению этой новейшей технологии в машинах и технологическом оборудовании деревообрабатывающих предприятий лесной промышленности, на наш взгляд, недостаточно, что сдерживает ее внедрение в эту важнейшую для нашей страны индустрию.

Промышленные роботы и робототехнические комплексы применяются преимущественно в металлообрабатывающих производствах. В лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности они пока не получили широкого применения, хотя с самого начала механизации процессов заготовки и переработки древесины машины и технологическое оборудование, участвующие в них, были конструктивно готовы и в то же время требовали роботизации, т. к. в этой отрасли имеется значительное количество участков с тяжелыми и вредными условиями труда, где их применение просто необходимо.

Материал, представленный в данном учебнике, позволяет, на наш взгляд, восполнить этот пробел и с учетом уже имеющегося опыта помочь внедрению технологии роботизации на предприятиях лесной индустрии.

С учетом специфики технологически процессов заготовки и переработки древесины и соответствующих условий работы занятых в них машин и деревообрабатывающего оборудования, в учебнике подробно рассмотрена автоматизация процессов на лесосеках, верхних и нижних складах, деревообрабатывающих предприятиях и цехах с применением робототехнических комплексов и систем. Большое внимание уделено конструкции и расчету манипуляторов, приводам, обеспечивающим энерговооруженность, передаточным механизмам, рабочим органам, в частности специфическим для лесных машин захватно-срезающим устройствам, и различному вспомогательному оборудованию, способствующему внедрению робототехнической технологии.

В разделах «Управление манипуляторами и роботами лесных машин» и «Оборудования» представлены современные методы и технология управления ими, датчики внутреннего и внешнего контроля, обеспечивающие эффективную работу робототехнических комплексов и оснащенных ими машин.

Теоретический материал, изложенный в учебнике, сопровождается конкретными задачами и примерами их решений, доведенных до конкретных числовых результатов, заданиями для курсового проектирования и методическими рекомендациями для их выполнения.

Учебник написан с учетом учебных планов и рабочих программ таких дисциплин, как «Робототехнические комплексы» и «Автоматизация технологических процессов и производств» направления подготовки 15.03.04.

Авторы выражают свою признательность и благодарность А. Н. Максимовой за помощь при технической подготовке рукописи данного учебника.

ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТОВ, РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В современных транспортно-технологических машинах лесного комплекса (харвестерах и форвардерах) и в большинстве других отраслей промышленности и техники широко применяются роботизированные комплексы и манипуляторы, в состав которых входят электро-, гидро- и пневмоприводы, для выполнения основных и вспомогательных технологических операций, заменяя или облегчая труд человека и одновременно повышая производительность.

1.1. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ. СОСТАВ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

В самом общем виде «робот» можно определить как универсальный автомат для осуществления механических и управляющих действий, подобных тем, которые производит человек, выполняющий работу. Робот состоит из манипулятора (М) и перепрограммируемого устройства управления (ППУ) (рис. 1.1).

Для сравнения: рука человека имеет 27 степеней подвижности, из которых 20 приходится на кисть; человеческое тело имеет несколько сотен степеней подвижности.

Степени подвижности подразделяются на *переносные* и *ориентирующие*. Переносные степени подвижности обеспечивают перемещение рабочего органа (РО) в заданную точку рабочей зоны робота (координаты: φ , β , γ , θ). Ротация схвата (координата α) относится к ориентирующим степеням подвижности, последние определяют положение рабочего органа в рабочей точке.

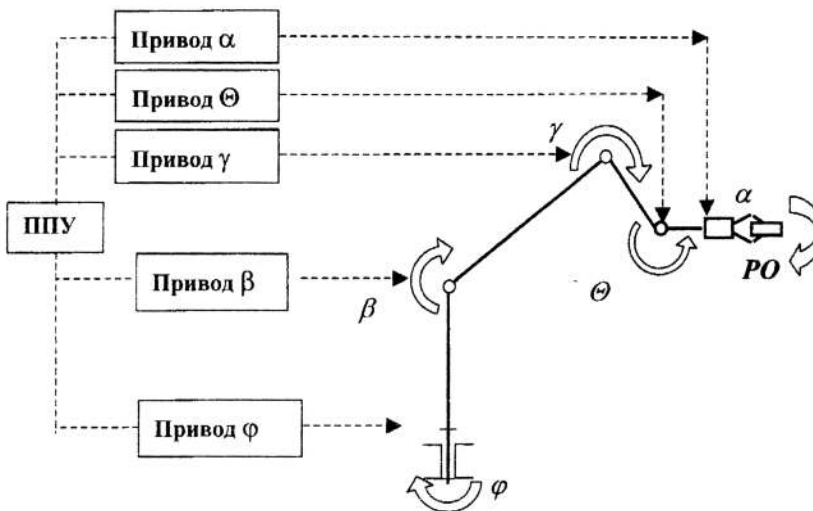


Рис. 1.1
Схема робота

Рабочие органы робототехнических комплексов служат для непосредственного выполнения технологических операций. Они подразделяются на захватные устройства (схваты) и специальный инструмент. В качестве специального инструмента используются окрасочные пистолеты, гайковерты, сварочные клещи, сборочный и измерительный инструмент.

Схваты — это аналоги кисти руки человека; бывают двух- и многопальцевые, оснащенные электромеханическими, электромагнитными, гидравлическими и пневматическими приводами.

Перепрограммируемое устройство управления (ПГТУ) — это «мозг» робота. ПГТУ выполняет следующие функции:

- хранит информацию о требуемой траектории движения манипулятора («память»);
- управляет траекторией движения манипулятора (по координатам, скорости, точности позиционирования и т. д.);
- синхронизирует работу робота с другими устройствами;
- обладает свойством перепрограммирования на отработку других траекторий.

Перепрограммируемое устройство управления выполняется на базе микропроцессорных чипов или микро-ЭВМ.

Как научно-техническое направление робототехника сложилась в конце 1960-х годов. Развитие роботов и расширение сферы их применения отражает классификация роботов по поколениям.

Роботы первого поколения работают по заранее заданной жесткой программе — это роботы с программным управлением. Роботы первого поколения с успехом воспроизводят двигательные функции человека. Они берут и кладут, поднимают, опускают, вынимают, вставляют, переворачивают предметы труда по заранее введенной в систему управления оператором программе. Это жестко программируемые роботы (рис. 1.2).

Роботы второго поколения — роботы с адаптивным управлением, или адаптивные роботы; они имеют средства очувствления, воспроизводят функции ощущения: видят, слышат, обоняют, осязают, высматривают, узнают, чувствуют массу поднимаемой детали, фиксируют касание схватом детали.

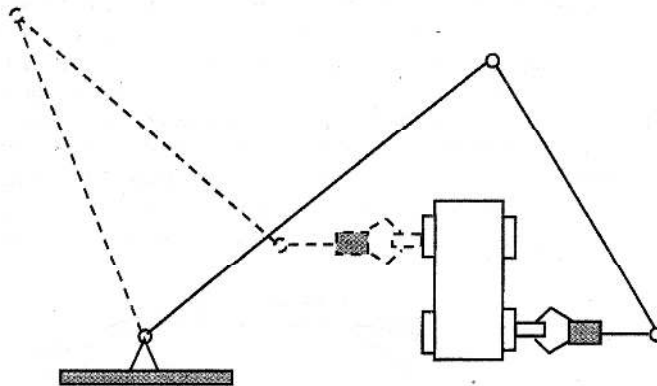


Рис. 1.2

Жестко программируемый робот

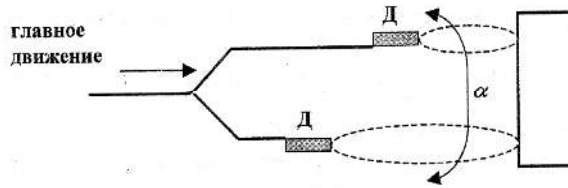


Рис. 1.3

Оучувствленный схват

Такие роботы могут выполнять различные операции в не полностью определенной или частично изменяющейся обстановке, т. е. адаптироваться (приспосабливаться). Такие роботы называют еще оучувствленными (рис. 1.3).

На рисунке 1.3 схват сканирует пространство в рабочей плоскости по координате α , локационные датчики Д определяют сектор захвата, после чего следует главное движение.

Роботы третьего поколения — это роботы с интеллектуальным управлением (с искусственным интеллектом). Они имеют систему оучувствления и систему обработки внешней информации. Подобно поведению человека, они как бы «думают», узнают, вспоминают, пробуют, ошибаются и учатся на ошибках. Это так называемые интеллектуальные роботы.

Отсутствие человека в контуре управления является общим признаком всех роботов, однако возможны случаи, когда управление роботом частично осуществляет человек. При этом супервизорное управление роботом позволяет человеку вывести робот в нужную зону действия и выдать ему некоторые ориентировочные указания. Все дальнейшие действия робот выполняет автоматически в соответствии с выбранной программой без участия человека. Оснащение, например, такими системами лесных машин (рис. 1.4) является одной из главных задач лесного машиностроения.

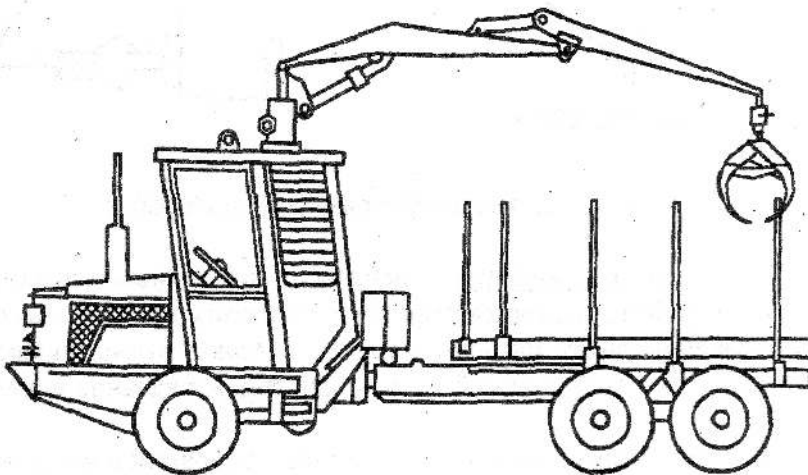


Рис. 1.4

Манипулятор с дистанционным управлением из кабины водителя

В зависимости от области применения роботы бывают:

- сельскохозяйственные (уборка овощей и фруктов, прополка, обслуживание теплиц и т. д.);
- медицинские (дистанционная хирургия, робот для массажа, физических упражнений и тренировок);
- бытовые (роботы для мойки окон высотных зданий («жуки»), робот-игрушка);
- роботы для научных исследований (автоматические манипуляторы космического базирования; роботы для проведения опытов в области ядерной физики; подводные роботы (батискафы) для проведения исследований на больших глубинах и для исследования русла рек);
- промышленные роботы (ПР).

Около 90% всего парка роботов в мире составляют промышленные роботы.

Главные задачи промышленной робототехники:

- исключение или сведение к минимуму тяжелого, малопродуктивного и травмоопасного ручного труда (например лесозаготовка, погрузочно-разгрузочные операции, складирование лесоматериалов);
- создание безлюдных или малолюдных технологий в условиях вредных производств (например производство древесных пластиков и плит, окраска);
- исключение монотонного, утомительного труда (конвейерная сборка);
- создание гибких производств с возможностью быстрого перехода на выпуск новой продукции (например мебельное производство).

Наиболее широкое применение ПР получили в автомобилестроении (КАМАЗ, ВАЗ, АЗЛК), электротехнической промышленности, приборостроении, производстве пластмасс, обработке металлов (перенос заготовок и инструмента, складирование, сборка, окраска, сварка, литье и др.), производстве ядерных материалов.

В зарубежной практике сегодня используется лизинг — долгосрочная аренда роботов.

К фирмам, поставляющим в другие страны роботы «под ключ», с полным сервисом их обслуживания, относится, например, фирма «Отометикс» (США).

Функциональная схема робота приведена на рисунке 1.5. Информационная система содержит накопители информации и датчики. Датчики внутренней информации — это датчики положения, скорости и ускорения движения звеньев манипулятора, сило-моментные датчики, устройства осязания и системы технического зрения.

Датчики внешней информации дают информацию о состоянии внешней среды (температура, давление, освещенность и др.). К ним относятся также датчики безопасности и блокировки аварийных ситуаций. Перепрограммируемое устройство управления (ППУ) управляет режимом движения манипулятора в соответствии с программой и с учетом информации, получаемой от информационной системы.

Устройство ручного управления, используется при программировании робота.

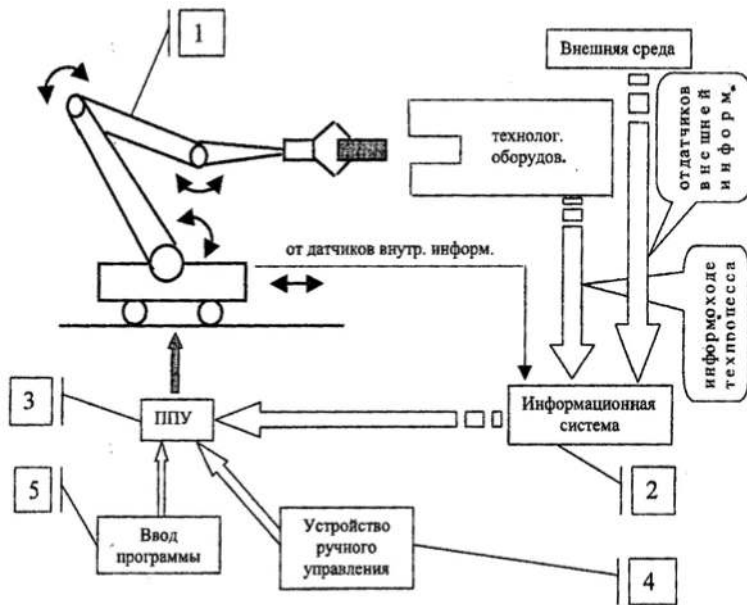


Рис. 1.5

Функциональная схема промышленного робота:

1 — манипулятор; 2 — информационная система; 3 — перепрограммируемое устройство управления (ППУ); 4 — устройство ручного управления, используется при программировании робота; 5 — устройство ввода программы.

Технические характеристики промышленных роботов

Грузоподъемность — наибольшая масса предмета, удерживаемого рукой или двумя руками в любом положении (главный параметр ПР).

Группы (ряды) ПР по грузоподъемности согласно ГОСТ 25204-82:

- сверхлегкие — до 1 кг (0,08; 0,16; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0);
- легкие — от 1 до 10 кг;
- средние — 10–200 кг;
- тяжелые — 200–1000 кг;
- сверхтяжелые — более 1000 кг.

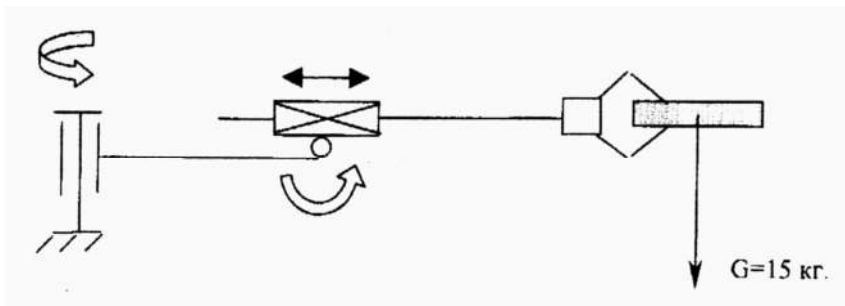


Рис. 1.6

Схема робота «Универсал 15-01», грузоподъемность 15 кг

Число степеней подвижности — это сумма всех возможных движений РО. Степени подвижности подразделяются на переносные (для перемещения РО в пределах рабочей зоны) и ориентирующие (для ориентации РО). Теоретически минимально необходимое число переносных степеней подвижности равно трем. Однако для обхода препятствий, повышения быстродействия и реализации более сложных траекторий манипуляторы ПР обычно имеют несколько избыточных степеней подвижности, хотя это усложняет робот и повышает его стоимость.

Рабочая зона — это пространство, в котором находится РО ПР при всех возможных положениях звеньев манипулятора. Форма рабочей зоны определяется системой координат, в которой работает ПР, и числом степеней подвижности. Размеры рабочей зоны определяются максимальными значениями поступательных и угловых перемещений.

Система координат. ПР подразделяются на группы, манипуляторы которых работают в декартовой, цилиндрической, сферической и угловой (ангулярной) системах координат. В некоторых типах роботов для реализации требуемой геометрии рабочей зоны используются комбинированные системы. Названным системам координат соответствуют определенные кинематические схемы и конструктивная компоновка манипулятора, тип привода, элементы системы управления.

Таблица 1.1

Типовые формы зон обслуживания

Система координат				
Декартова (прямоугольная)		Полярная и угловая (ангулярная)		
плоская	пространственная	плоская	цилиндрическая	сферическая
				

В прямоугольной (декартовой) системе координат (рис. 1.8) работают ПР РИТМ-0.5-0.1 (грузоподъемностью 0,5 кг), РКТВ-7 (грузоподъемностью 7 кг), СПД-1 и другие.

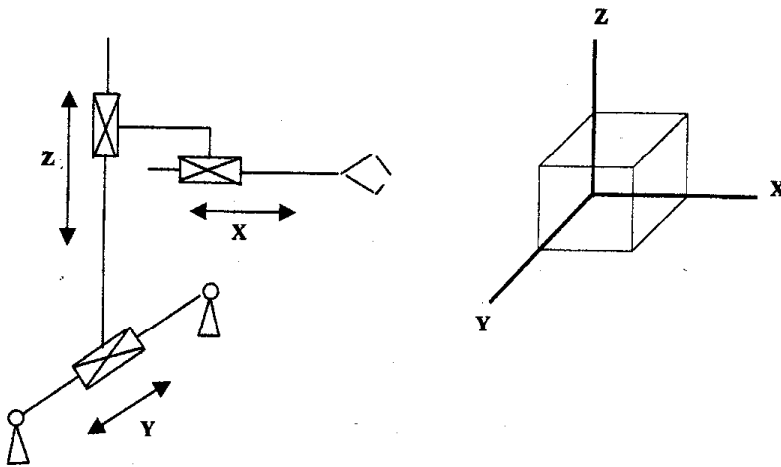


Рис. 1.8

Исполнительная кинематическая цепь (ИКЦ) робота с прямоугольной системой координат.
Форма рабочей зоны — параллелепипед

В цилиндрической системе координат (рис. 1.9) работает большинство промышленных роботов: «Универсал-5», «Циклон-3.5», РКТВ-1, 2, 3, 4, 5, 6 и другие.

В сферической системе координат (рис. 1.10) работают роботы «Сфера», ПР-35, «Универсал 15-01».

На рисунке 1.11 приведена схема манипулятора ПР, работающего в ангулярной (угловой) системе координат. Узлы сопряжения такого манипулятора — шарниры. Такие ПР называют шарнирными или антропоморфными. Они компактны, хотя и наиболее сложны в управлении.

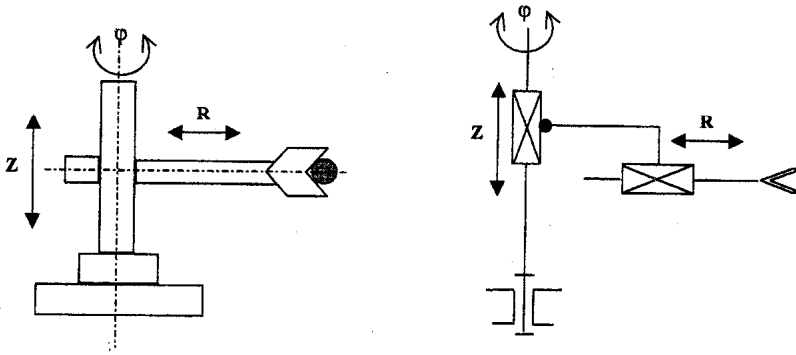


Рис. 1.9

ИКЦ робота с цилиндрической системой координат (φ, z, R). Форма рабочей зоны — цилиндр (часть цилиндра)

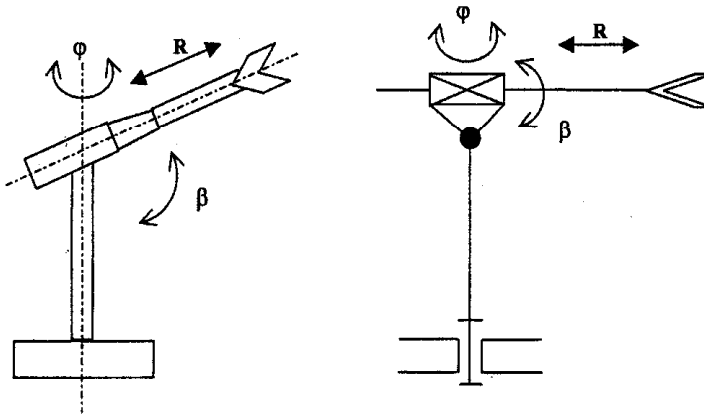


Рис. 1.10

ИКЦ робота, работающего в сферической системе координат (φ, β, R). Форма рабочей зоны — сфера (часть сферы)

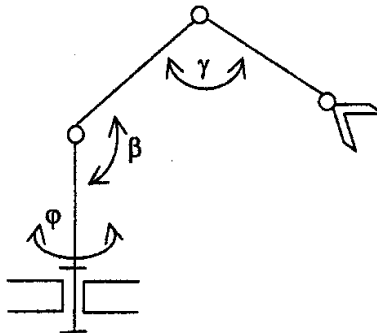


Рис. 1.11

Кинематическая схема манипулятора, работающего в угловой системе координат

Быстродействие исполнительного механизма ПР определяется скоростью его перемещения по отдельным степеням подвижности, в частности, скоростями линейного (v , м/с) и углового (ω , град/с или рад/с) перемещения звеньев манипулятора, и позволяет определить производительность ПР. При наличии циклограммы работы ПР, содержащей последовательность его действий, время цикла t_u рассчитывается как сумма временных интервалов соответствующих действий [2]:

$$t_u = \sum_i^n t_i,$$

где t_i — время i -го действия; n — количество действий.

При оптимизации задачи многостаночного обслуживания скоростные характеристики ПР позволяют рассчитать оптимальное количество $N_{\text{опт}}$ единиц технологического оборудования, обслуживаемых одним роботом [2]:

$$N_{\text{опт}} = \frac{t_{\text{шт}}}{t_{\text{об}}} + 1,$$

где $t_{\text{об}} = t_u$ — время обслуживания роботом одного станка; $t_{\text{шт}}$ — штучное время обработки заготовки на одном станке.

Быстродействие роботов общего назначения можно разбить на три группы:

- малое — при линейных скоростях по отдельным степеням подвижности до 0,5 м/с;
- среднее — при линейных скоростях от 0,5 до 1 м/с;
- высокое — при линейных скоростях выше 1 м/с.

Большинство современных роботов имеет среднее быстродействие, и только 20% общего парка — высокое.

Точность манипулятора ПР определяется результирующей погрешностью позиционирования (при дискретном перемещении) или точностью отработки заданной траектории при непрерывном движении. Чаще всего точность роботов характеризуется абсолютной погрешностью. Точность позиционирования и быстродействие манипулятора в значительной мере определяются параметрами вынужденных и собственных колебаний элементов его конструкции и временем их затухания. Для маложестких конструкций необходимо задавать по возможности безударный закон движения системы. Резкое увеличение упругого смещения исходного звена происходит при соотношении [2, 3]:

$$\frac{f_b}{f_c} \geq 0,4 \dots 0,5,$$

где f_b — частота изменения возмущающей силы (время торможения); f_c — частота собственных колебаний.

Для обеспечения быстрого, но плавного торможения (с минимальными колебаниями) время торможения должно быть равно [2]:

$$t_r = (0,8 \dots 1,0) T_c,$$

где $T_c = 2\pi/f_c$ — период собственных колебаний.

Точность позиционирования манипулятора рекомендуется определять по следующей формуле:

$$\Delta_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_{\text{ср}} - \Delta_i)^2}{n}},$$

где $\Delta_{\text{ср}}$ — среднее отклонение захватного устройства; σ — среднеквадратичное отклонение захватного устройства; $\Delta_i = (P_{\text{инп}} - P_i)$ — отклонение действительного положения P_i захвата от заданного программой положения $P_{\text{инп}}$; n — число повторений программы, выводящей захватное устройство в заданную точку [2].

Точность воспроизведения траектории в каждой точке P_i характеризуется средним отклонением и колебанием действительной траектории $\Delta_{\text{ср}}$ около средней. Ситуация, при которой $\Delta_{\text{ср}} \approx 0$, означает, что данная программа управления манипулятора отличается хорошей повторяемостью. Ошибка реверса манипулятора — это расстояние между средним положением $P_{\text{ср}}$ захвата и запрограммированной точкой при подходе к ней в прямом и обратном направлении.

Погрешность отработки траектории рабочего органа ПР — отклонение фактической траектории от заданной по программе [2].

Точность роботов общего применения можно разбить на три группы: малая — при линейной погрешности свыше 1 мм; средняя — от 0,1 до 1 мм; высокая — менее 0,1 мм. Подавляющее большинство роботов имеет среднюю точность. Однако ПР в электронной промышленности имеют погрешность до единиц микрона, а роботы для грубых работ — несколько миллиметров.

Коэффициент сервиса ПР характеризует возможность подхода захватного устройства (конечного звена) манипулятора к заданной точке с разных направлений. Совокупность возможных положений оси захвата, при которых центр его находится в заданной точке рабочего пространства, определяет телесный угол θ , называемый *пространственным углом обслуживания*, или углом сервиса. Коэффициент сервиса в данной точке пространства описывается выражением [2]:

$$k = \frac{v}{4\pi}.$$

Он может изменяться от нуля на границе рабочего пространства (где ось захвата может занимать только одно положение) до единицы для точек зоны полного сервиса, в которой ось захвата может занимать любое положение. Полный коэффициент сервиса — это его среднее значение в рабочем пространстве объемом V :

$$k_c = \frac{\int k dV}{V}.$$

Коэффициент сервиса является качественным показателем кинематических характеристик ПР в целом и позволяет выбрать рациональный вариант структурной схемы его РО. Задача оптимизации заключается в выборе для звеньев вида и расположения кинематических пар, при которых $k_c = \max$.

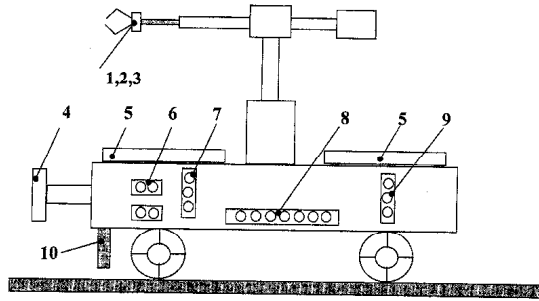


Рис. 1.12

Расположение датчиков внешней информации цеховой автоматической тележки с роботом:

1 — наличие тары на исходной позиции; 2 — груз взят; 3 — схват открыт; 4 — безопасность движения; 5 — наличие тары на тележке; 6 — связь; 7 — опознавание объектов, сведения о потребности объекта; 8 — коррекция положения тележки и робота у объекта; 9 — останов тележки; 10 — путевое слежение при движении тележки.

Подвижность робота определяется наличием (рис. 1.12) или отсутствием у него средств передвижения.

В первом случае ПР называются подвижными (колесные, гусеничные, шаговые, на электромагнитной подвеске), а во втором — стационарными. Например, робот типа МП-12Т (12 тонн) — транспортный робот на колесном ходу для внутризаводских (цеховых) перевозок контейнеров. Траектория движения задается расположенной на полу светоотражающей или магнитной лентой. Робот ТРТ-1-250 (Спрут 1) перемещается по монорельсу. Это транспортный робот подвешенного типа, позиционирование осуществляется с помощью индуктивных датчиков, расположенных на трассе движения. Создание шагающих роботов — специальная задача, отдельное направление в робототехнике (Япония).

По способу размещения стационарные и подвижные роботы бывают напольные, подвесные и встраиваемые в другое оборудование (например станок). Существуют варианты траверсного исполнения роботов со значительно расширенной зоной действия (длина траверса до 8 м) (рис.1.13).

Большей эффективностью обладают роботы, оснащенные информационными системами для сбора данных об изменении внешней среды и оценки состояния манипулятора. Такие роботы, как уже отмечалось, называют адаптивными.

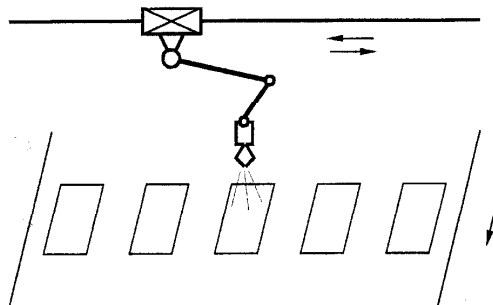


Рис. 1.13

Схема траверсного исполнения роботов

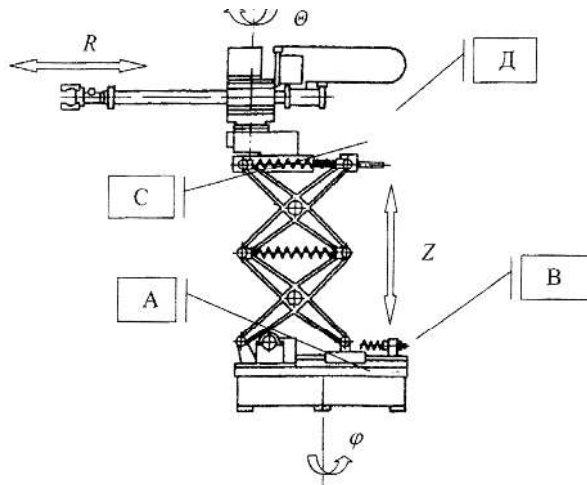


Рис. 1.14

Электромеханический робот «Универсал-5»:

А — механизм поворота платформы (координата φ , двигатель М1); В — механизм подъема руки (координата z , двигатель М2); С — механизм поворота (координата θ , двигатель М3); Д — механизм выдвижения руки (координата R , двигатель М4).

Они оснащены системами очувствления. К последним относятся силомоментные и тактильные устройства, локационные системы и системы технического зрения (СТЗ). Механизм выдвижения руки (координата R) содержит речно-зубчатый передаточный механизм (РЗП), понижающий цилиндрический редуктор, электродвигатель М4 (рис. 1.14).

Ориентирующие степени подвижности робота (координаты α и β) оснащены пневматическими приводами, функционирующими в режиме циклового управления.

Робот «Универсал-5» работает в позиционном режиме, программируется по кадрам, имеет аналоговую систему управления (рис. 1.14).

Общий вид робота «Универсал-5» показан на рисунке 1.15.

Все типы роботов в зависимости от условий работы могут иметь исполнение: нормальное, пылезащитное, влагозащитное, взрывобезопасное.

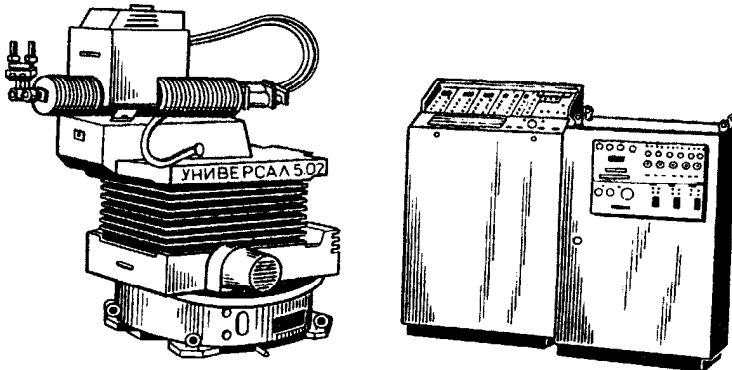


Рис. 1.15

Общий вид робота «Универсал-5»

Рассмотренные выше характеристики роботов относятся к классификационным, т. е. используются для формирования типажа роботов. Например: легкий пневматический ПР с цикловым управлением для обслуживания прессов в пластмассовом производстве; или: окрасочный гидравлический промышленный робот с контурным управлением; далее перечисляются технические характеристики.

1.2. ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ (МАНИПУЛЯТОРЫ И ПР.)

Примеры конструктивной компоновки манипуляторов промышленных роботов представлены на рисунке 1.16.

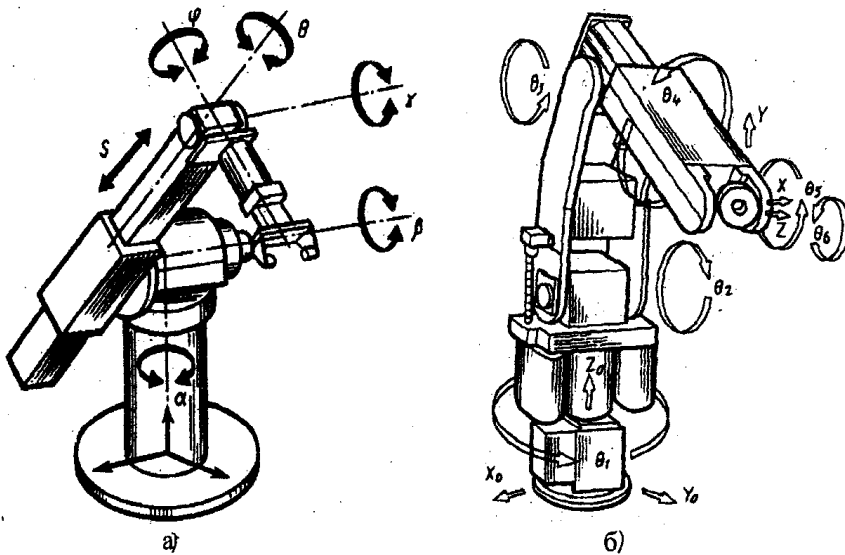


Рис. 1.16

Компоновочные схемы манипуляторов ПР:

а — компоновочная схема манипулятора ПР, работающего в сферической системе координат; б — компоновочная схема манипулятора ПР, работающего в ангулярной системе координат.

1.2.1. Технологические основы применения роботов

Промышленный робот — это современное средство автоматизации производственных процессов. От традиционных средств механизации и автоматизации роботы отличаются универсальностью и гибкостью.

Под универсальностью понимают возможность использования робота в широком диапазоне различных технологических операций. Гибкость управления роботом обеспечивает оперативный переход на новые режимы движения, связанные с перемещением предмета производства и технологической оснастки, включая смену рабочего инструмента.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru