

**Министерство высшего и среднего специального образования  
Республики Узбекистан**

**Ташкентский государственный технический университет  
имени Ислама Каримова**

**А.В. ЖЕЛТУХИН, А.А. БАЙДУЛЛАЕВ**

**ОСНОВЫ МЕХАТРОНИКИ**

**Методические указания**

**Ташкент – 2022**

**УДК: 62-52**

Основы мехатроники. Методические указания.

Желтухин А.В., Байдуллаев А.А. – Т., ТашГТУ, 2022. 59 с.

В методических указаниях по курсу «Основы мехатроники» приводятся темы и порядок выполнения лабораторных работ с необходимым теоретическим материалом, контрольными вопросами.

Лабораторные работы составляющие методические указания являются логическим продолжением для получения и закрепления углубленных знаний, полученных во время лекционных занятий по курсу «Основы мехатроники».

Методические указания направлены на выработку у студентов практических умений и знаний в решении технологических задач различной направленности, формировании естественнонаучного мышления студентов-бакалавров, умения работать в команде.

Печатаются по решению учебно-методического совета Ташкентского государственного технического университета.

Протокол №6 от 23 февраля 2022 г.

**Рецензенты:** проф. Дуняшин Н.С. (ТашГТУ)

Ph.D. с.н.с Тукфатуллин О.Ф. (НУУз)

©Ташкентский государственный технический университет, 2022

## ВВЕДЕНИЕ

Мехатронные системы, как новое направление в развитии технических систем, обладают определенными признаками и свойствами, которые отличают их от технических систем с традиционным построением и структурой.

Главная методологическая идея мехатроники как науки и техники состоит в системном сочетании ранее обособленных научно-технических областей (механика, микроэлектроника, электроника, электротехника, компьютерное управление, сенсорика и информационные технологии).

Целью изучения курса «Основы мехатроники» является приобретение студентами специальных знаний и умений, необходимых для организации автоматизированных производственных процессов в машиностроении.

В мехатронике наблюдается сочетание классической механики, электроники, микропроцессорных систем управления, технических средств измерения, преобразования и передачи информации. Это позволяет создавать интеллектуальные изделия, обеспечивающие выполнение рабочих функций в сочетании с мониторингом внешнего мира, внутреннего состояния объекта, принятия решений из совокупного анализа текущей ситуации и способные взаимодействовать с системами управления высшего уровня, т.е. способные встраиваться в современные системы автоматизации.

Успех в создании мехатронного технологического оборудования чаще всего предопределен разработкой принципиально новых технологических процессов. Появление на рынке разнообразных мехатронных модулей позволяет решать задачи мониторинга и диагностики оборудования, ускоряя при этом процесс проектирования.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### Определение основных конструктивно-технологических показателей промышленных роботов.

*Цель работы:* Изучить конструкцию, принцип работы промышленных роботов. Определить основные конструктивно-технологические показатели. Приобрести навыки работы с технической литературой и справочниками.

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Промышленные роботы предназначены для замены человека при выполнении основных и вспомогательных технологических операций в процессе промышленного производства. При этом решается важная социальная задача – освобождение человека от работ, связанных с опасностями для здоровья или с тяжелым физическим трудом, а также от простых монотонных операций, не требующих высоких квалификаций. Гибкие автоматизированные производства, создаваемые на базе промышленных роботов, позволяют решать задачи автоматизации на предприятиях с широкой номенклатурой продукции при мелкосерийном или штучном производстве.

**Промышленный робот** – 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.

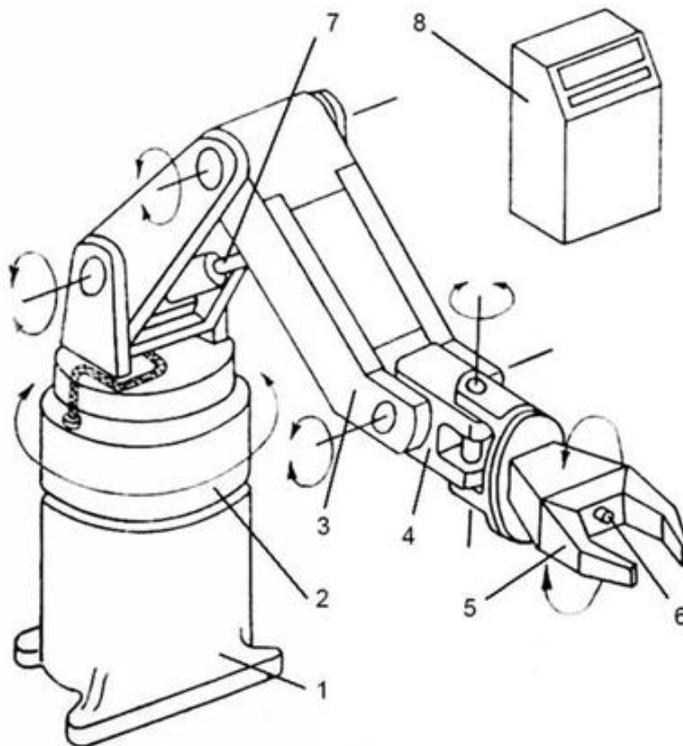
**Манипулятор** – управляемое устройство или машина для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении объектов в пространстве, оснащенное рабочим органом.

Манипулятор промышленного робота по своему функциональному назначению должен обеспечивать движение выходного звена и закрепленного в нем объекта манипулирования в пространстве по заданной траектории с заданной ориентацией.

**Рабочий орган промышленного робота** – составная часть исполнительного устройства промышленного робота для непосредственного выполнения технологических операций и (или) вспомогательных переходов.

Примерами рабочего органа служат сварочные клещи, окрасочный пистолет, сборочный инструмент, захватное устройство.

В соответствии с вышеприведённым определением промышленный робот в целом состоит из исполнительного устройства (манипулятора) и устройства программного управления (рис. 1.1)



*Рис. 1.1. Внешний вид робота манипулятора:  
1 - опорная конструкция (основание); 2 – колонна; 3 – рука  
манипулятора; 4 – кисть; 5 – рабочий орган (схват); 6 – датчик  
обратной связи; 7 – привод руки; 8 – блок управления;*

ГОСТ 4.480-87 устанавливает номенклатуру основных показателей качества промышленных роботов, включаемых в техническое задание на научно-исследовательскую работу по определению перспектив развития этой продукции, государственные стандарты с перспективными требованиями, а также показателей качества, включаемых в разрабатываемые и пересматриваемые стандарты на продукцию, технические условия, техническое задание на опытно-конструкторскую работу.

Число степеней подвижности  $\eta$  промышленного робота в большей мере определяется его назначением, содержанием манипуляционных действий, размерами рабочей зоны и выбранной структурно-кинематической схемой:

$$\eta = \eta_0 + \eta_T + \eta_K, \quad (1.1)$$

где  $\eta_0$ ,  $\eta_T$ ,  $\eta_K$  – число независимых степеней подвижности конструкции, необходимое для реализации соответственно *ориентирующих*, *транспортирующих* и *координатных* перемещений. Число степеней подвижности производственных промышленных роботов определяется содержанием манипуляционных действий, необходимых для выполнения основных технологических операций. В зависимости от требований к точности позиционирования и необходимости обеспечения автоматической смены захватных устройств или инструмента число степеней подвижности для осуществления независимых ориентирующих движений  $\eta_0 = 2 \div 4$  (иногда более). Для транспортирующих перемещений  $\eta_T \geq 3$ , а для координатных  $\eta_K \leq 2$ . Результаты анализа технических параметров промышленных производственных роботов показывают, что для машин этих типов  $\eta \approx 5 \div 8$ .

Число степеней подвижности подъемно-транспортного промышленного робота определяется назначением робота, формой, размерами и расположением рабочих зон обслуживаемого оборудования и его количеством, а также рядом других факторов (табл. 1.1).

*Таблица 1.1*  
*Технические требования и факторы, влияющие на число степеней подвижности роботов*

<b>Технические требования и факторы</b>	<b><math>\eta_0</math></b>	<b><math>\eta_T</math></b>	<b><math>\eta_K</math></b>
Необходимость перебазирования объекта манипулирования, обусловленная:			
особенностями обработки детали (перекладывание позиции на позицию, кантование и т.п.)	+		
характером ориентации детали на позиции загрузки, выгрузки или хранения	+		
Особенности расположения в рабочей зоне оборудования, базирующего приспособления для фиксации детали и принцип его действия.	+	+	
Форма, размеры и расположение рабочей зоны обслуживаемого оборудования (рабочих позиций)		+	

Планировка роботизированного комплекса (число и расположение роботизированных позиций)		+	+
Система ординат транспортирующих перемещений промышленного робота и его структурно-кинематическая схема	+	+	+
Дополнительные специальные требования к конструкции промышленного робота; автоматическая смена захватных устройств, очистка баз детали и станка, необходимость в дополнительных перемещениях и т.п.	+	+	+

**Подвижность манипулятора  $W$**  – число независимых обобщенных координат, однозначно определяющее положение схвата в пространстве:

$$W = 6n - \sum_{i=1}^5 (6-i) \cdot p_i, \quad (1.2)$$

где

$n$  – число звеньев манипулятора;

$p_i$  – число сочленений (пар) соответственно первого, второго, третьего, четвертого и пятого классов;

или для незамкнутых кинематических цепей

$$W = \sum_{i=1}^5 i \cdot p_i, \quad (1.3)$$

**Маневренность манипулятора  $M$**  – подвижность манипулятора при зафиксированном (неподвижном) схвате:

$$M = W - 6 \quad (1.4)$$

Кинематические пары разделяют по виду независимого относительного движения, числу накладываемых ограничений, виду замыкания и характеру соприкосновения звеньев. Ограничения на относительное движение звеньев называют условиями связи кинематической пары. Если на детали не накладывать связи, то каждая из них будет обладать шестью степенями свободы т.е. в общем случае может совершать шесть видов независимых движений (три поступательных и три вращательных). Число простейших движений может оказаться больше числа степеней свободы, если между простейшими

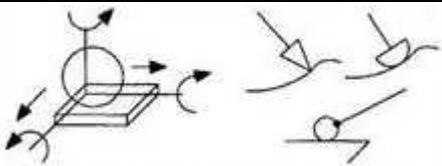
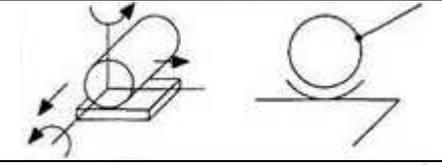
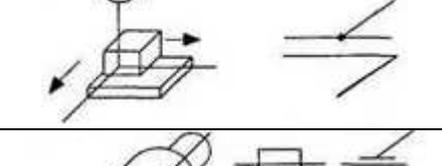
движениями установлены функциональные зависимости (винт-гайка). Кинематические пары делят на классы в зависимости от числа условий связи. Всего классов 5. Класс можно определить по формуле:

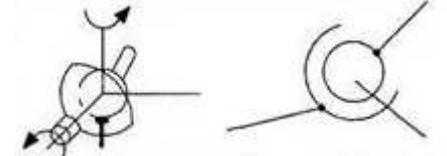
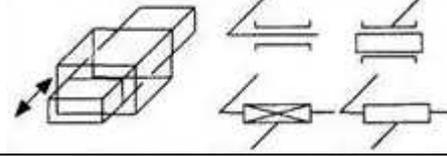
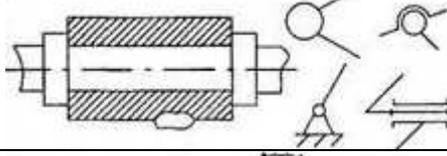
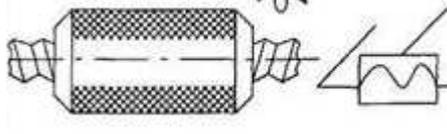
$$S = 6 - H, \quad (1.5)$$

где

$H$  – число степеней свободы;

Таблица 1.2  
Классификация кинематических пар

Класс пары	Число связей	Число степеней свободы	Название пары	Вид кинематической пары		Рисунок и графическое изображение
				В	Пр.	
I	1	5	Пятиподвижная шар-плоскость	В	Пр.	
II	2	4	Четырехподвижная – Цилиндр-плоскость	В	Пр.	
III	3	3	Трехподвижная сферическая	Н	Пр.	
III	3	3	Трехподвижная плоскостная	Н	Пл.	
IV	4	2	Двухподвижная цилиндрическая	Н	Пр.	

IV	4	2	Двухподвижная сферическая с пальцем	Н	Пр.	
V	5	1	Одноподвижная поступательная	Н	Пл.	
V	5	1	Одноподвижная вращательная	Н	Пл.	
V	5	1	Одноподвижная винтовая	Н	Пр.	

Примечания: сокращённые названия кинематических пар; В – высшая, Пр – пространственная; Н – низшая; Пл – плоская.

**Одноподвижной (парой V класса)** называется кинематическая пара с одной степенью свободы в относительном движении её звеньев и пятью наложенными условиями связи. Одноподвижная пара может быть вращательной, поступательной или винтовой.

**Вращательная пара** допускает одно вращательное относительное движение её звеньев вокруг оси X. Соприкосновение элементов звеньев вращательных пар происходит по боковой поверхности круглых цилиндров. Следовательно, эти пары относятся к низшим.

**Поступательной парой** называется одноподвижная пара, допускающая прямолинейно-поступательное относительное движение её звеньев. Поступательные пары также являются низшими, так как соприкосновение элементов их звеньев происходит по поверхностям.

**Винтовой парой** называется одноподвижная пара, допускающая винтовое (с постоянным шагом) относительное движение её звеньев и принадлежащая к числу низших пар.

**Двухподвижная кинематическая пара** (пара IV класса) характеризуется двумя степенями свободы в относительном движении её звеньев и четырьмя условиями связи. Такие пары могут быть либо с одним вращательным и одним поступательным

относительными движениями звеньев, либо с двумя вращательными движениями.

К первому виду принадлежит так называемая *цилиндрическая пара*, т.е. низшая кинематическая пара, допускающая независимые вращательное и колебательное (вдоль оси вращения) относительные движения её звеньев.

Примером пары второго вида является *сферическая пара* с пальцем. Эта низшая геометрически замкнутая пара, допускающая относительное вращение своих звеньев вокруг осей X и Y.

**Трехподвижной парой** называется кинематическая пара с тремя степенями свободы в относительном движении её звеньев, что свидетельствует о наличии трёх наложенных условий связи. В зависимости от характера относительного движения звеньев различают три вида пар: с тремя вращательными движениями; с двумя вращательными и одним поступательным движениями; с одним вращательным и двумя поступательными.

Основным представителем первого вида является *сферическая пара*. Это низшая геометрически замкнутая пара, допускающая сферическое относительное движение её звеньев.

К третьему виду принадлежит так называемая *плоскостная пара*, т.е. низшая кинематическая пара, допускающая плоскопараллельное относительное движение её звеньев.

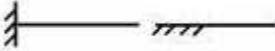
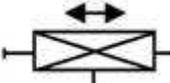
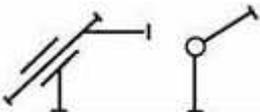
**Четырехподвижная пара (пара II класса)** - это кинематическая пара с четырьмя степенями свободы в относительном движении её звеньев, т.е. с двумя наложенными условиями связи. Все четырёхподвижные пары являются высшими. Примером может служить пара, допускающая два вращательных и два поступательных движения.

**Пятиподвижной парой (пара I класса)** называется кинематическая пара с пятью степенями свободы в относительном движении её звеньев, т.е. с одним наложенным условием связи. Такая пара, составленная из двух сфер, разрешает три вращательных и два поступательных движения и всегда будет высшей.

Структура кинематической цепи манипулятора должна обеспечивать требуемое перемещение объекта в пространстве с заданной ориентацией. Для этого необходимо, чтобы схват манипулятора имел возможность выполнять движения минимум по шести координатам: трем линейным и трем угловым.

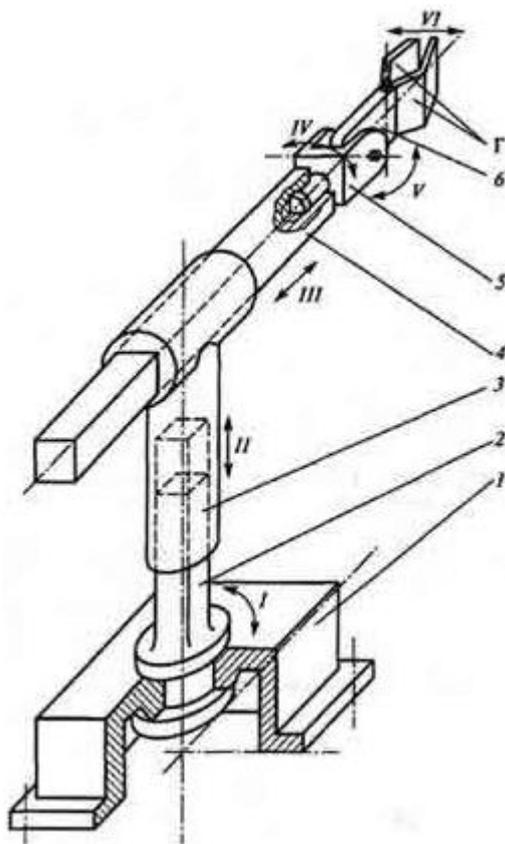
Из выше изложенного можно сделать вывод, что соединение звеньев манипулятора в кинематическую цепь осуществляется с помощью кинематических пар, основные типы которых принято изображать согласно табл. 1.3.

*Таблица 1.3*  
*Условные обозначения кинематических пар*

Элемент	Эскиз	Характеристика
Звено (стержень).		
Неподвижное закрепление звена (стойка).		Движение отсутствует.
Жесткое соединение.		
Подвижное соединение с перемещением вдоль прямолинейных направляющих.		Возвратно-поступательное движение
Цилиндрическое соединение звеньев.		Возвратно-поступательное движение с независимым вращением вокруг продольной оси.
Плоское шарнирное соединение звеньев.		Вращение вокруг поперечной оси.
Шаровой шарнир.		Вращение вокруг трех осей.

На рис. 1.2 представлен общий вид одного из типов манипулятора. Звенья исполнительного механизма обозначены цифрами 1, 2, ... , 6, характер и возможные направления движения звеньев – стрелками I, II, ..., V. Манипулятор содержит неподвижное звено I в виде основания или корпуса промышленного робота, на котором установлено вращающееся вокруг вертикальной оси (в направлении стрелки I) звено 2 – колонна манипулятора. Относительно колонны вертикально (II) движется звено 3 – каретка, в направляющих которой перемещается

в радиальном направлении (III) звено 4 – рука манипулятора. К руке в свою очередь присоединяется звено 5, вращающееся (IV) относительно ее продольной оси, и далее звено 6, связанное шарнирно со звеном 5 и вращающееся в направлении стрелки V. В совокупности звенья 5 и 6 по аналогии с рукой человека могут быть названы кистью. Звено 6 представляет собой рабочий орган, в частном случае – захватное устройство с захватными элементами Г (губками), которые могут совершать движения (VI), за счет чего обеспечивается «зажатие– разжатие» объекта манипулирования. Движение вращения руки (IV) часто называют ротацией, а поворота кисти (V) – сгибом.



*Рис. 1.2. Общий вид манипулятора промышленного робота:  
1 – неподвижное звено; 2 – колонна манипулятора; 3 – каретка; 4 –  
рука манипулятора; 5, 6 – звенья, аналогичные руке человека; I–V –  
направления движения звеньев*

В рассмотренном манипуляторе движения колонны, каретки и руки в направлениях I, II и III являются переносными, обеспечивающими перемещение рабочего органа или объекта манипулирования в заданное место рабочей зоны ПР; перемещение кисти и захватного устройства в направлениях IV и V – ориентирующими, необходимыми для ориентации рабочего органа

или объекта манипулирования. Отдельные движения элементов рабочего органа, например, в направлении VI «зажатия – разжатия» губок хватного устройства 5, относятся к внутренним, поскольку не изменяют ни положения рабочего органа в рабочей зоне, ни его ориентации. При рассмотрении общей кинематики и динамики манипулятора эти движения не учитывают. Структурная схема манипулятора может быть представлена в виде, показанном на рис 1.3.

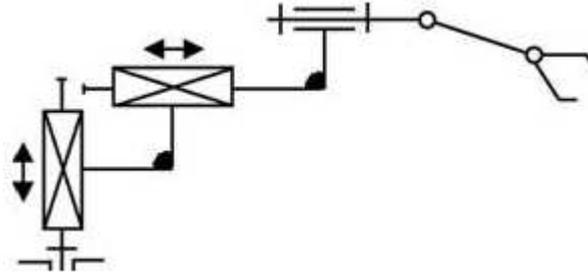


Рис. 1.3. Структурная схема манипулятора.

По ГОСТ 25685-83 определены виды систем координат для руки манипулятора. Структурные схемы механизмов кисти, применяемые в манипуляторах, даны в табл. 1.4. Присоединяя к выходному звену руки тот или иной механизм кисти, можно получить большинство известных структурных схем манипуляторов, которые применяются в реальных промышленных роботах.

Таблица 1.4  
Структурные схемы кисти манипулятора

Структурные схемы кисти манипулятора				

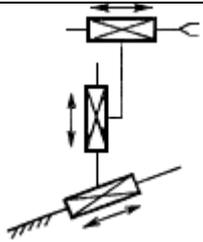
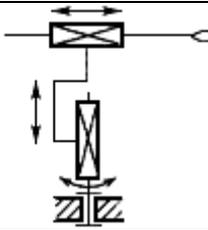
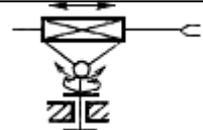
Система координат, в которой работает манипулятор робота, зависит от кинематической схемы манипулятора и определяет рабочую зону робота.

Для переноса объекта манипулирования без его ориентации (в любое место рабочей зоны) необходимо и достаточно наделить манипулятор тремя степенями подвижности, каждая из которых может быть как поступательной, так и вращательной. Эти степени подвижности, называемые переносными, или региональными, определяют систему координат, в которых осуществляются основные движения исполнительного устройства робота по переносу объекта.

В зависимости от характера каждой из переносимых степеней подвижности (поступательной или вращательной), их последовательности и взаимной ориентации в пространстве формируется та или иная базовая система координат манипулятора со своими особенностями и формой пространственной фигуры, описываемой рабочим органом промышленного робота.

ГОСТ 25685-83 по виду систем координат промышленные роботы подразделяют на группы, указанные в табл. 1.5.

*Таблица 1.5*  
*Классификация промышленных роботов в зависимости от системы координат*

Группа	Пример структурной кинематической схемы
Роботы, работающие в прямоугольной декартовой системе координат.	
Роботы, работающие в цилиндрической системе координат.	
Роботы, работающие в сферической системе координат.	

<p>Роботы, работающие в угловой системе координат.</p>	
<p>Роботы, работающие в других системах координат.</p>	

Промышленный робот, действующий в **прямоугольной, или декартовой, системе координат** (рис. 1.4), имеет три поступательных базовых степени подвижности с взаимно перпендикулярными направлениями перемещений.

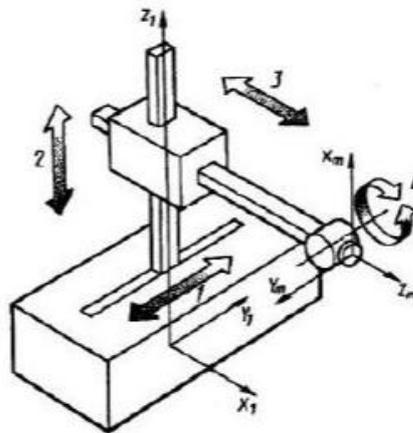


Рис. 1.4. Робот, работающий в прямоугольной системе координат.

Промышленный робот, действующий в **цилиндрической системе координат** (рис. 1.5), имеет одну вращательную и две поступательные базовые степени подвижности с взаимно перпендикулярными направлениями перемещений.

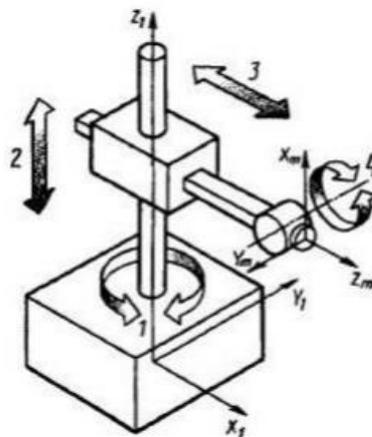
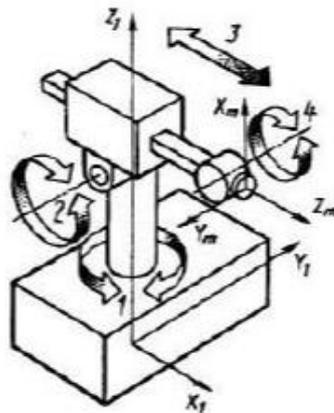


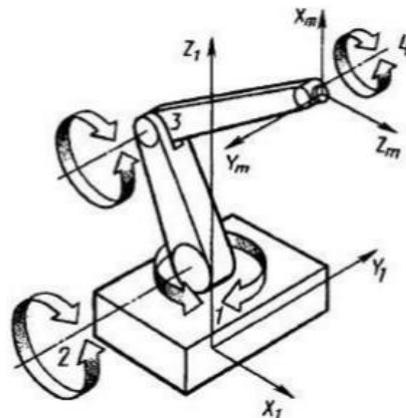
Рис. 1.5. Робот, работающий в цилиндрической системе координат.

Промышленный робот, действующий в **сферической, или полярной системе координат** (рис. 1.6), имеет две вращательные взаимно перпендикулярные и поступательную степени подвижности.



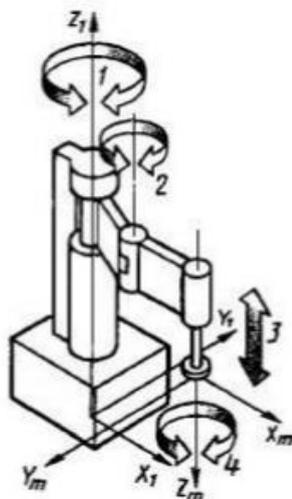
*Рис. 1.6. Робот, работающий в полярной системе координат.*

Промышленный робот, действующий в **угловой, или ангулярной, сферической системе координат** (рис. 1.7), имеет три вращательных базовых степени подвижности. Такая конфигурация манипулятора, называемая еще сложной сферической, или антропоморфной.



*Рис. 1.7. Робот с шарнирной (антропоморфной) рукой.*

Промышленный робот, действующий в **ангулярной цилиндрической, или сложной цилиндрической** (рис. 1.8), системе координат, имеет две вращательные в горизонтальной плоскости степени подвижности и перпендикулярную в нем - поступательную, т.е. направленную вертикально.



*Рис. 1. 8. Робот, действующий в ангулярной цилиндрической, или сложной цилиндрической, системе координат.*

Таким образом, вид базовой системы координат манипулятора промышленного робота определяет его конструктивное исполнение, уровень сложности системы управления и трудности программирования исполнительных движений.

Компоновка и конструктивное исполнение робота, прежде всего зависят от того, какие движения и в какой последовательности должен выполнять манипулятор при функционировании.

Система координат, в которой работает манипулятор робота, зависит от кинематической схемы манипулятора и определяет рабочую зону робота.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ ЧАСТЬ**

1. Используя раздаточный материал, составьте кинематическую схему промышленного робота манипулятора.

2. Изучите схему компоновки основных узлов робота манипулятора, предложенного преподавателем. Изучите назначение и принцип работы узлов.

3. Используя ГОСТ 4.480-87, составьте перечень основных показателей качества промышленных роботов.

4. Составьте карту взаимосвязи координат основных движений и структурно-кинематической схемы промышленных роботов с формой рабочих зон основного технологического оборудования.

5. Используя раздаточный материал, составьте схему технологической классификации промышленных роботов.

6. Оформите отчёт по лабораторной работе в соответствии с требованиями преподавателя и подготовьтесь к защите.

### **Контрольные вопросы:**

1. Что определяет рабочую зону манипулятора?
2. Составные части и конструкцию промышленного робота.
3. Перечислите основные показатели качества промышленного робота.
4. От чего зависит компоновка и конструктивное исполнение промышленного робота?
5. Какие технические требования и факторы влияют на число степеней подвижности роботов?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2**

### **Исследование работы промышленного робота.**

*Цель работы: Изучить принцип работы промышленных роботов и их основные параметры. Научиться строить циклограмму РТК и сеть Петри. Приобрести навыки работы с технической литературой и справочниками.*

### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Промышленные роботы призванные заменить ручной труд человека машинным трудом, являются принципиально новым технологическим средством, позволяющим завершить комплексную автоматизацию производства и придать последнему свойство гибкой переналадки на различные технологии и изготавливаемые изделия. Снабженные роботами технологические ячейки, участки, линии именуется роботизированными технологическими комплексами. Разнообразие производственных процессов в машиностроении и приборостроении, местных условий производства, серийность и пр. определяют соответственно различные типы роботизированных технологических комплексов.

Во всех случаях важнейшими элементами робототехнических комплексов являются устройства сопряжения промышленного робота с остальным технологическим оборудованием. Наибольшей

технологической оснастки в этом смысле требуют роботы первого поколения для строго упорядоченной подачи деталей.

При разработке робототехнического комплекса следует различать следующие две задачи. Первая - создание робототехнического комплекса для вновь организуемого производственного процесса; вторая - построение робототехнического комплекса для уже действующего производства.

Первая задача, естественно, позволяет получить наиболее эффективное решение, так как в этом случае можно ориентироваться на наиболее прогрессивную технологию, оборудование и организацию комплекса. При решении второй задачи необходимо учитывать многочисленные ограничения, связанные с условиями действующего производства. Сегодня именно эта вторая задача является наиболее актуальной в деле повышения эффективности народного хозяйства.

Основной структурной единицей любого робототехнического комплекса, являются робототехнические ячейки. Поэтому разработка робототехнического комплекса начинается с отдельных робототехнических ячеек. Прежде всего, необходимо оценить степень подготовленности обрабатываемого изделия к автоматическому производству. В результате определяется необходимость создания или возможность использования определенных ориентирующих и подающих устройств для автоматизации рассматриваемой технологической операции.

Также изучаются основные **технические характеристики промышленных роботов.**

К ним относятся:

**Номинальная грузоподъемность манипулятора (промышленного робота)** – наибольшее значение массы предметов производства или технологической оснастки, включая массу захватного устройства, при которой гарантируется их удержание и обеспечение установленных значений эксплуатационных характеристик.

**Рабочее пространство манипулятора (промышленного робота)** – пространство, в котором может находиться исполнительное устройство при функционировании манипулятора (промышленного робота).

**Рабочая зона манипулятора (промышленного робота)** – пространство, в котором может находиться рабочий орган при функционировании манипулятора (промышленного робота).

**Зона обслуживания манипулятора (промышленного робота)** – пространство, в котором рабочий орган выполняет свои функции в соответствии с назначением манипулятора (промышленного робота) и установленными значениями их характеристик.

**Число степеней подвижности робота** – сумма возможных координатных движений объекта манипулирования относительно опорной системы.

**Погрешность позиционирования рабочего органа** – отклонение положения рабочего органа манипулятора от заданного программой.

**Мобильность робота** – определяется возможностью совершать движения.

*Промышленные роботы* предназначены для выполнения двигательных и управляющих функций в производственном процессе.

*Манипуляционный робот* – автоматическое устройство, состоящее из манипулятора и перепрограммируемого устройства управления, которое формирует управляющие воздействия, задающие требуемые движения исполнительных органов манипулятора. Они позволяют значительно автоматизировать процесс конвейерного производства, что в свою очередь, позволяет увеличить производительность труда, уменьшить издержки производства, а также ослабить влияние человеческого фактора, за счёт чего повысится конкурентоспособность.

Компоновочная схема робота приведена на рис. 2.1, а. Все агрегаты и механизмы закреплены на раме 1 с тележкой. На тележке расположен блок программного управления 3 с силовым разъёмом 2, силовой орган – гидростанция 16 с исполнительными двигателями 15, рядом с которыми расположены гидроамортизаторы 14 механизма поворота. Над двигателем установлен механизм поворота 13 колонны 6 с поворотным столом 12. Колонну 6 приводят в движение гидродвигатель 5. Для защиты механизмов, расположенных внутри колонны, предусмотрен защитный кожух 7. Рука – манипулятор 8 со штоком 9, с ориентирующим механизмом – кистью 10 и захватом манипулятора

11 приводится в движение гидродвигателем 4. На рис. 2.1, б представлена схема робота.

Робот имеет пять степеней подвижности, не считая движения захвата. Рука робота перемещается в цилиндрической системе координат, т.е. два её движения прямолинейны. Движение руки 7 происходит от упора до упора. Положение упоров регулируют в зависимости от требуемой величины хода. Кисть 6 с захватом 5 поворачивается гидроцилиндрами поворота кисти 3, 4. Манипулятор перемещается по каретке 8, которая расположена на колонне 9. Вертикальное перемещение руки и поворот колонны осуществляют гидроцилиндры поворота 2 через тяговую цепную передачу со звёздочками 1, насаженными на вал колонны. Заготовка ориентируется поворотом кисти 6. Плавность хода регулирует гидроамортизатор 10. Робот имеет пульт ЧПУ и пульт ручного управления.

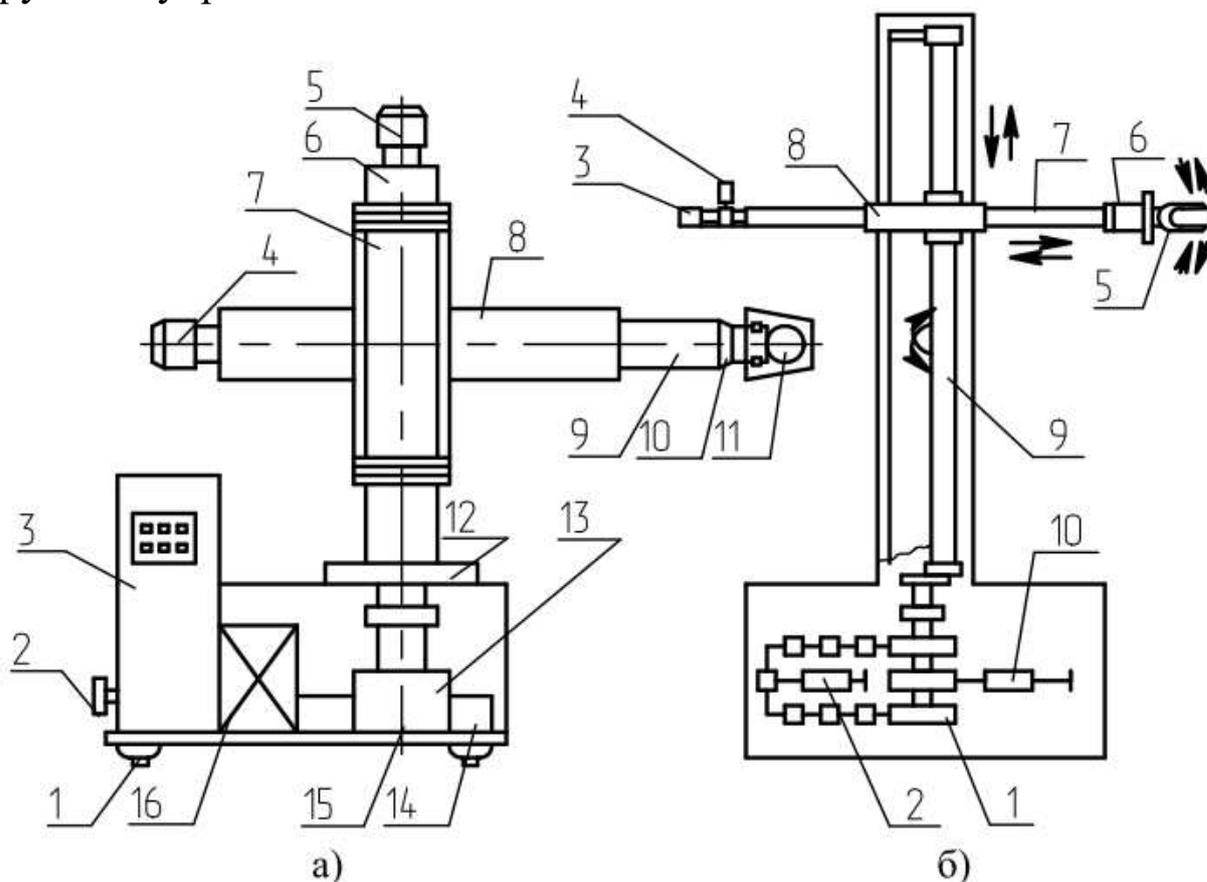


Рис. 2.1. Устройство робота:  
 а) компоновка, б) кинематическая схема

Положение манипулятора, т.е. траектория его перемещения программируется. Обучение производят в ручную с пульта ручного управления путём последовательного проведения руки робота по заданным точкам программы, при этом определяют фактические

координаты заданных точек. При ручном обучении программа записывается на перфоленту или другой съёмный носитель. В системе управления роботом есть устройство синхронизации работы с техническим оборудованием, с помощью которого обеспечивается рабочий цикл обработки детали. По полученным командам со станка робот снимает готовую деталь и устанавливает новую.

Все разнообразие форм, размеров, физико-технических свойств штучных деталей, подлежащих ориентированной подаче, можно систематизировать по конфигурации деталей, числу осей и плоскостей симметрии, стабильности формы, сцепляемости, соотношению размерных параметров и физико-механическим свойствам. На основании этих признаков основная масса штучных заготовок по методам ориентации в загрузочных устройствах может быть разделена на три больших класса.

*Первый класс* объединяет детали и сборочные компоненты достаточно простой формы. Операции ориентации, базирования и транспортирования таких деталей легко автоматизируются с помощью известных технических решений.

*Второй класс* составляют детали средней сложности. Они требуют разработки специальных устройств ориентации и подачи.

*Третий класс* объединяет детали, из-за сложности которых автоматическая ориентация и подача их с помощью специальных устройств нецелесообразны.

В зависимости от того, к какому классу относится рассматриваемая деталь, определяется и тип требуемого промышленного робота. Если деталь относится к первому или второму классу и, следовательно, возможна ее автоматическая поштучная подача с требуемой ориентацией, то в составе такой роботизированной технологической ячейки могут быть использованы жесткопрограммируемые роботы первого поколения. Если деталь относится к третьему классу, необходимо использовать адаптивные роботы, способные распознавать и брать несориентированные изделия. Наконец, может оказаться, что в особо сложных случаях детали целесообразно формировать в магазины с помощью человека.

Устройства, подающие детали поштучно и с заданной ориентацией, в рамках робототехнической ячейки относятся к вспомогательному оборудованию и делятся на два больших

класса: магазинные и бункерные. В магазинные устройства изделия укладываются вручную или укладочным механизмом, после чего поштучная подача их осуществляется автоматически. Бункерные устройства предназначены для захвата насыпанных навалом заготовок и выдачи их поштучно в ориентированном положении. Наиболее широкое применение - в робототехнических ячейках нашли дисковые фрикционные и вибрационные бункерные устройства.

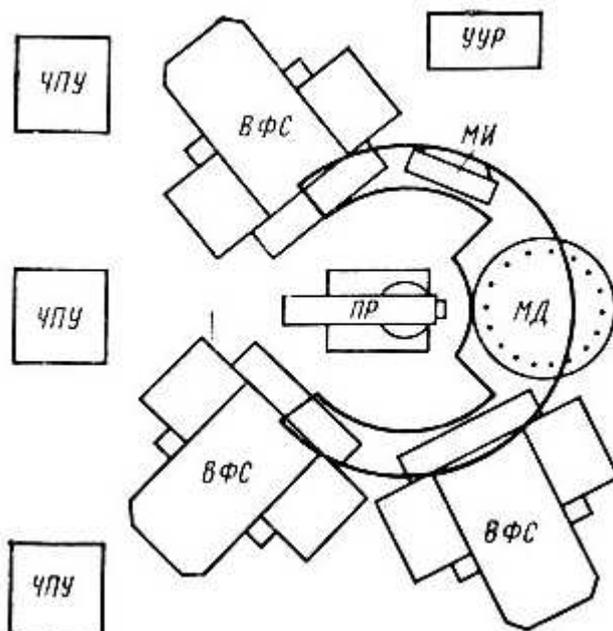


Рис. 2.2. Компоновочная схема РТЯ: ПР - промышленный робот МП-8; ВФС - вертикально-фрезерный станок модели 6520Ф3; ЧПУ - устройство числового программного управления станком; УУР - устройство управления роботом; МИ - магазин инструмента; МД - магазин деталей, занимаемая площадь  $S = 29 \text{ м}^2$

В результате анализа степени подготовленности обрабатываемого изделия к автоматическому производству определяют вид вспомогательного оборудования и тип робота, который необходимо использовать в составе разрабатываемой робототехнической ячейки. Эти данные являются исходными для перехода к задаче выбора оптимальной компоновки робототехнической ячейки.

Еще одним немаловажным элементом является циклограмма функционирования робототехнического комплекса, которая включает в себя в выбранной последовательности (контрольные точки) все переходы (действия), выполняемые основным и

вспомогательным оборудованием, а также промышленным роботом, необходимые для обработки заготовки.

Циклограмму строят для:

- быстрого определения рабочего цикла  $T_p$ ;
- определения значения цикловой производительности  $Q_{ц}$ ;
- установления возможности сокращения рабочего цикла за счет совмещения времени выполнения отдельных переходов и сокращения длительности несовмещенных переходов и т.д.

Прежде чем приступить к построению циклограммы, необходимо:

- определить все движения (переходы), выполняемые промышленным роботом, основным и вспомогательным оборудованием;
- установить последовательность выполнения всех движений;
- определить время выполнения каждого движения по следующим формулам:

$$t_i = \frac{\varphi_i}{\omega_i}; \quad t_i = \frac{l_i}{V_i}, \quad (2.1)$$

где

$\varphi_i$  – углы поворота механизмов;

$l_i$  – линейные перемещения механизмов;

$\omega_i$ ,  $V_i$  – скорости углового и линейного перемещений соответственно.

В формулу 2.1 подставляется меньшее из двух (номинального и расчетного) значений скоростей.

При построении циклограммы в вертикальной колонке построчно перечисляются оборудование робототехнического комплекса и характер совершаемых им движений. По горизонтали откладывается время выполнения каждого движения.

Сети Петри представляют собой двудольный ориентированный граф, в котором имеются вершины двух типов: вершины одного типа называются позициями (изображаются кружками), а вершины другого типа – переходами (изображаются чертой с барьером). Для условно-событийных систем позиции сети Петри интерпретируются как условия (предусловия, постусловия) совершения события, а переходы соответствуют событиям, происходящим в системе. Элементарная сеть Петри может быть представлена так (рис. 2.3):

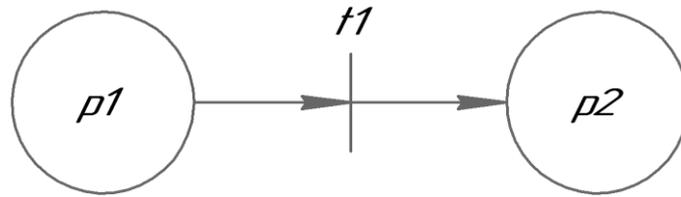


Рис. 2.3. Элементарная сеть Петри.

Дуги в сетях Петри – направленные. Причем каждая дуга связывает вершины, только разных типов: если дуга выходит из позиции, то должна войти в переход и наоборот. На рис. 2.4, приведен пример, соответствующий этому ограничению, а на рис. 2.5 – недопустимые варианты соединений.

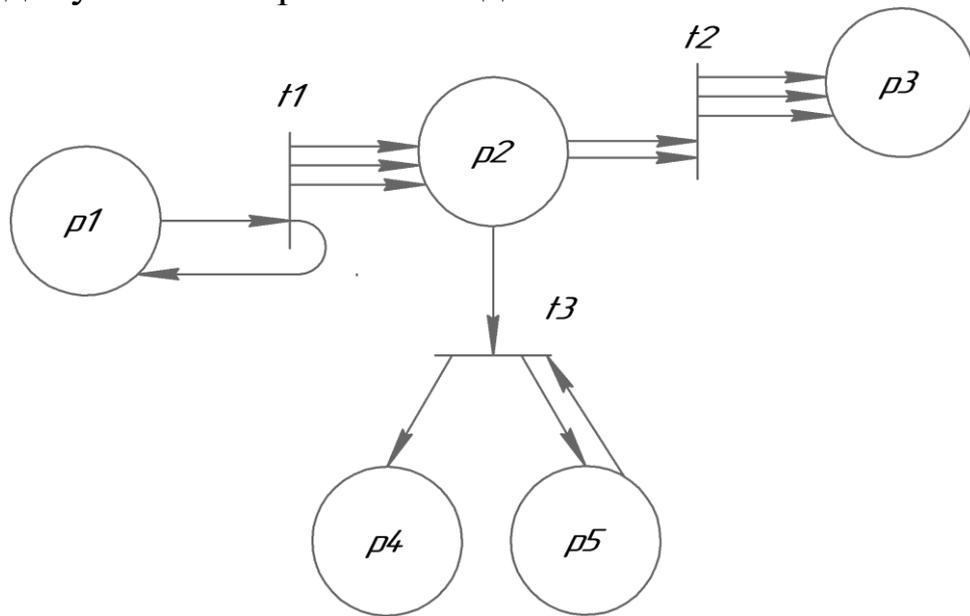


Рис. 2.4. Допустимые варианты соединения.

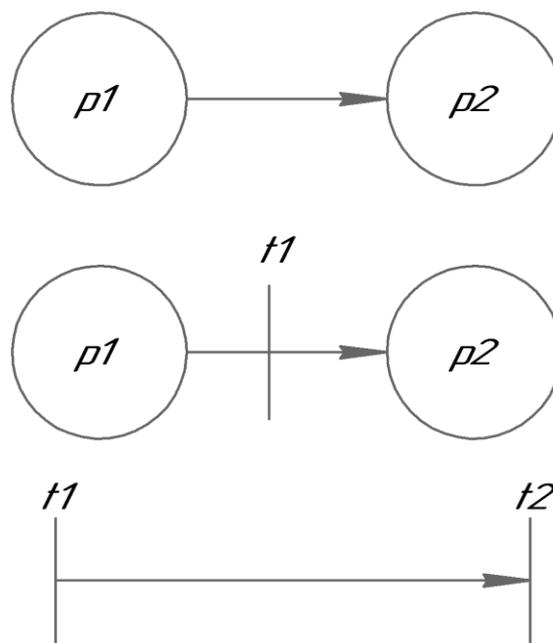


Рис. 2.5. Недопустимые варианты соединения.

Позиции, из которых выходят дуги, направленные к данному переходу, называются его входными позициями. Позиции, в которые входят дуги, исходящие из данного перехода, называются его выходными позициями. Так, в элементарной сети на рис. 2.3 позиция  $p_1$  является для перехода  $t_1$  входной, а позиция  $p_2$  – выходной.

Динамика поведения моделируемой системы (и в этом принципиальное отличие сетей Петри от графовых моделей, которые по своей сути являются статическими) находит свое отражение в функционировании (работе) сети Петри. Работу сети можно представить как совокупность срабатываний переходов. Переход запускается, если выполнены все условия реализации соответствующего события. Выполнение условия в сетях Петри отображается разметкой соответствующей позиции, а именно размещением в ней одного или нескольких маркеров (фишек) в соответствии с емкостью условия. В графическом представлении маркер обозначается точкой внутри соответствующей позиции. Так, если в позицию  $p_1$  на рис. 2.3 поместить маркер, то это будет означать, что условие совершения события  $t_1$  имеет место (выполнено), и событие может произойти (рис. 2.6, а).

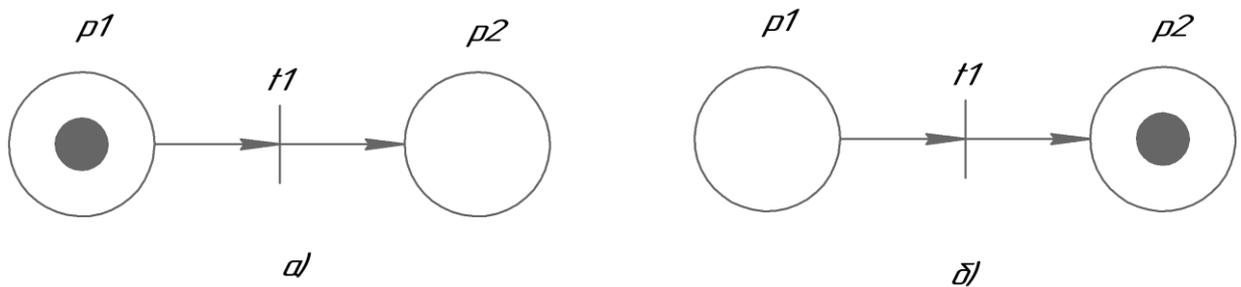


Рис. 2.6. Срабатывание перехода в элементарной сети.

Срабатывание перехода – неделимое действие, изменяющее разметку его входных и выходных позиций следующим образом: из каждой входной позиции маркер изымается, а в каждую выходную позицию – добавляется. Тем самым реализация события изменяет состояние непосредственно связанных с ним условий: предусловия возникновения события перестают существовать, а вместо них возникают постусловия совершения события. Для элементарной сети на рис. 2.6 факт срабатывания разрешенного перехода  $t_1$  отмечается изменением маркировки: маркер, находившийся в

позиции  $p_1$  в результате срабатывания перехода  $t_1$  перемещается в позицию  $p_2$ , рис 2.6, б.

## ЛАБОРАТОРНАЯ ЧАСТЬ

1. По предложенному варианту составьте планировку робототехнического комплекса, с указанием его основных элементов.
2. Определите контрольные точки.
3. Составьте циклограмму РТК.
4. Постройте сеть Петри.
5. Оформите отчёт по лабораторной работе в соответствии с требованиями преподавателя и подготовьтесь к защите.

### Контрольные вопросы:

1. Что из себя представляют сети Петри?
2. Опишите структуру промышленного робота.
3. Что из себя представляет циклограмма работы РТК?
4. Необходимые данные для разработки компоновки РТК.
5. Перечислите основные характеристики промышленного робота.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### Расчёт захватного устройства промышленного робота.

*Цель работы:* Получение навыков анализа схем и расчета захватных устройств, промышленных роботов. Ознакомление с классификацией и техническими характеристиками рабочих органов промышленных роботов. Ознакомление с методикой и параметрами расчетов захватных устройств. Приобрести навыки работы с технической литературой и справочниками.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Захватные устройства представляют собой важные элементы промышленных роботов. Оснащение захватными устройствами широкого назначения расширяет области применения промышленных роботов и позволяет переналаживать их для выполнения различных операций. В последнее время интенсивно

ведутся разработки хватных устройств, способных захватывать и базировать неориентированно расположенные объекты. Поэтому систематизация и анализ конструкций хватных устройств, разработка методов их выбора, расчета и проектирования, установление требований к ним в зависимости от характера выполняемых операций и рекомендаций по применению имеют весьма существенное значение.

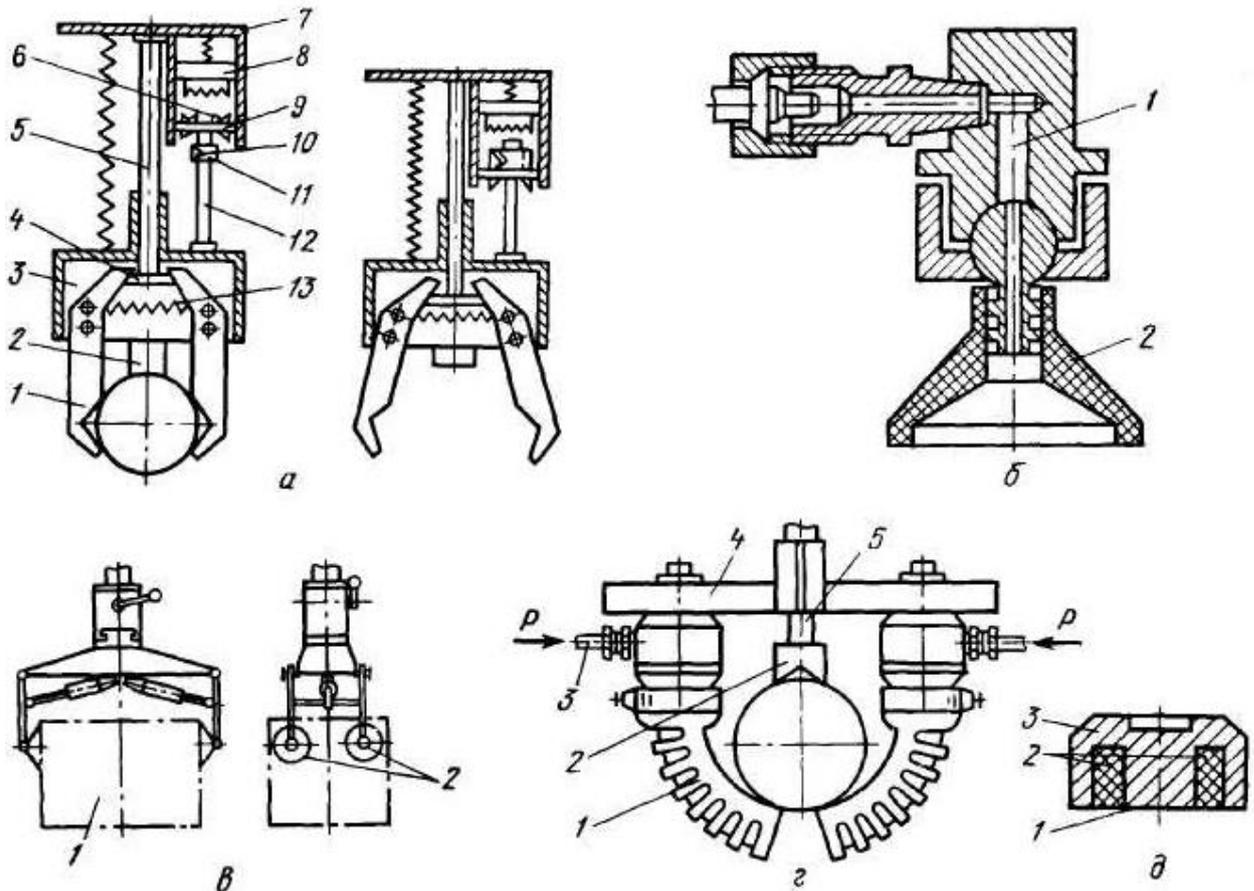


Рис. 3.2. Виды хватных устройств.

- а) неприводное со стопорным механизмом: 1 – губки, 2 – упор, 3 – головка, 4 – планка, 5 – направляющая, 6 – зубцы, 7 – корпус, 8, 9 – втулки, 10 – выступы, 11 – защелка, 12 – ось, 13 – пружина.  
 б) вакуумное для плоских объектов: 1 – подводящий канал, 2 – единичная присоска. в) вакуумное с четырьмя присосками: 1 – груз, 2 – присоски. г) с гибкой оболочкой: 1 – оболочка, 2 – упор, 3 – трубопровод, 4 – корпус, 5 – винт. д) электромагнитное: 1 – защитный лист, 2 – катушки, 3 – корпус.

Захватные устройства промышленных роботов и манипуляторов служат для захватывания и удержания в определенном положении объектов манипулирования. Эти объекты могут иметь различные размеры, форму, массу и обладать

разнообразными физическими свойствами, что требует применения захватных устройств разного характера. Поэтому захватные устройства относятся к числу сменных элементов промышленных роботов.

**Захватным устройством промышленного робота** называется его рабочий орган, предназначенный для захватывания и удерживания предмета производства и (или) технологической оснастки.

Общим понятием для захватных устройств, всех видов является понятие «рабочий элемент». Рабочим элементом называется элемент захватного устройства, вступающий непосредственно в контакт с объектом. Для магнитных захватных устройств, рабочими элементами являются элементы магнитной системы, к которым притягивается объект, вакуумных – контактирующая с объектом присоска, ограничивающая полость разряжения воздуха. Наряду с термином «рабочие элементы» в литературе употребляются антропоморфные термины: «губки», «пальцы», «челюсти» и др.

ГОСТ 26063-84 Роботы промышленные. Захватные устройства. Типы, номенклатура основных параметров, присоединительные размеры, устанавливает следующие типы захватных устройств, промышленных роботов:



Рис. 3.1. Типы захватных устройств, промышленных роботов.

**Механическими** называются захватные устройства, в которых удерживание объекта осуществляется под действием реакций в точках (зонах) контакта с рабочими элементами, создаваемых двигателем или собственным весом объекта. Механические захватные устройства разделяются на *схваты* и *поддерживающие захватные устройства*.

*Схватом* называется механическое захватное устройство, представляющее собой механизм, удерживающий объект посредством зажима рабочими элементами при их перемещении двигателем

*Поддерживающими* называются механические захватные устройства, не имеющие подвижных звеньев и представляющие собой опоры, на которых объект удерживается под действием сил тяжести (ковши для захватывания, транспортировки и разлива жидкого металла, крюки, штыри, призматические опорные элементы, лопатки и пр.).

**Вакуумными** называются захватные устройства, удерживающие объект посредством разряжения воздуха в замкнутой полости рабочего элемента – присоски. Различают *активные* вакуумные захватные устройства, в которых разряжение воздуха создается принудительно с помощью вакуумных насосов или эжекционных устройств, и *пассивные* - в которых разряжение воздуха создается за счет его вытеснения при деформировании рабочих элементов.

**Магнитными** называются захватные устройства, удерживающие объект при действии магнитных сил, создаваемых постоянным магнитом или электромагнитом.

К захватным устройствам предъявляются требования, как общего характера, так и специальные связанные с конкретными условиями работы. К числу **обязательных требований относятся** надежность захватывания и удержания объекта, недопустимость его повреждения или разрушения, стабильность базирования. Предъявляются повышенные требования к прочности захватного устройства при одновременном обеспечении малых габаритов и массы. Особое внимание обращается на надёжность крепления захватного устройства к промышленному роботу.

При обслуживании одним промышленным роботом нескольких единиц оборудования применение широкодиапазонных захватных устройств или их автоматическая смена может оказаться

единственно возможным решением, если одновременно обрабатываются детали различной конфигурации и массы.

Технические характеристики захватных устройств делятся на четыре группы.

*В первую группу* объединяются показатели, общие для всех типов захватных устройств, *во - вторую* показатели схватов, *в третью* – вакуумных захватных устройств, *в четвертую* – магнитных захватных устройств.

Номенклатуру **технических характеристик** составляют следующие показатели:

1. Номинальная грузоподъемность, [кг].
2. Усилие захватывания, [Н].
3. Предельные значения приложенных сил и моментов, [Н] или [Нм] (указываются предельные значения приложенных сил и моментов по трем осям прямоугольной системы координат – захватного устройства).
4. Время захватывания, [с].
5. Время отпускания, [с].
6. Средняя наработка на отказ, [ч].
7. Масса, [кг].
8. Габаритные размеры, [мм].
9. Эксплуатационные показатели схватов.
  - 9.1 Кинематическая схема.
  - 9.2 Усилие на выходном звене привода, [Н].
  - 9.3 Максимальное перемещение выходного звена привода, [мм].
  - 9.4 Давление рабочего тела привода, [МПа].
  - 9.5 Напряжение питания, [В].
10. Эксплуатационные показатели вакуумных захватных устройств.
  - 10.1 Размеры контактной площади присоски, [мм].
  - 10.2 Номинальное давление в полости присоски, [МПа].
11. Эксплуатационные показатели магнитных захватных устройств.
  - 11.1 Число ампер-витков.
  - 11.2 Размеры площади контакта, [мм<sup>2</sup>].
  - 11.3 Напряжение питания, [В].

**Основные параметры захватных устройств.** Основные параметры захватных устройств регламентированы руководящим

техническим – материалом РТМ2 РОО-1-78 и методическими указаниями МУ2.10-82.

Основными техническими характеристиками хватных устройств всех типов являются: номинальная грузоподъемность, усилие захватывания, предельно допустимые значения приложенных сил и моментов по осям системы координат хватного устройства, время захватывания и время отпускания, масса, габаритные размеры, показатели надежности.

**Грузоподъемность.** Грузоподъемность хватных устройств должна соответствовать одному из значений ряда: 0,08; 0,16; 0,63; 1,25; 2,50; 5,00; 10,00; 20,00; 40,00; 80,00; 160,00; 250,00; 500,00; 1000,00 кг. Этот ряд соответствует ряду грузоподъемности промышленных роботов, и обусловлен тем, что грузоподъемность хватного устройства не должна являться фактором, ограничивающим технологические возможности промышленного робота. Ряд грузоподъемности соответствует ряду предпочтительных чисел R 10/3 ГОСТ 8032-84.

**Размер захватываемой поверхности.** Наибольший размер наружной или внутренней поверхности, захватываемой зажимными хватными устройствами, должен соответствовать одному из значений следующего ряда: 1, 4, 12, 32, 63, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500 мм.

Ряд наибольших размеров захватываемых поверхностей выбран из ряда чисел R 10 ГОСТ 6636-69 по конструктивным соображениям. Данный ряд регламентирует предел переналадки узкодиапазонных устройств и предел работы широкодиапазонных.

Узкодиапазонные хватные устройства при переналадке должны иметь возможность захватывать поверхности с размерами, включающими меньшие соседние значения указанного ряда. Широкодиапазонные хватные устройства также должны обладать этой возможностью, но без переналадки.

Таким образом, гамма хватных устройств с наибольшими размерами захватываемых поверхностей любого размера, лежащего внутри ряда, т.е., от 0 до 500 мм.

**По характеру крепления к руке промышленного робота** все хватные устройства можно разделить на четыре группы.

1. Несменяемые хватные устройства – неотъемлемая часть конструкции робота. Замена таких хватных устройств не предусматривается.

2. Сменные захватные устройства – самостоятельные узлы с базовыми поверхностями для крепления к роботу, не рассчитанные на быструю замену, - например, установленные на фланце с помощью нескольких винтов.
3. Быстросменные захватные устройства – сменные узлы с конструкцией базовых поверхностей для крепления к роботу, обеспечивающей быструю смену, - например, байонетный замок.
4. Захватные устройства, пригодные для автоматической смены, - устройства, конструкция базовых поверхностей которых обеспечивает возможность автоматического закрепления на роботе.

**По виду управления** захватные устройства подразделяются на четыре группы.

1. Неуправляемые захватные устройства – устройства с постоянными магнитами, с вакуумными присосками без принудительного разряжения, и др., для снятия объекта с которых требуется большая сила, чем для удержания.
2. Командные захватные устройства управляются только командами на захватывание или отпускания объекта. Это, в частности, захватные устройства с пружинным приводом и стопорными устройствами, срабатывающие через такт. Разжим и зажим губок происходят благодаря взаимодействию с объектом манипулирования или элементами внешнего оборудования.
3. Жесткопрограммируемыми захватными устройствами управляет система программного управления. Величина раскрытия и закрытия губок, взаимное расположение рабочих элементов, усилие зажима таких захватных устройств меняются в зависимости от заданий программы, которая может управлять и действием вспомогательных технологических приспособлений.
4. Адаптивные захватные устройства – программируемые устройства, оснащенные различными датчиками внешней информации, определяющими форму поверхности и массу объекта, усилие зажима, проскальзывание объекта относительно рабочих элементов захватного устройства и т.п.

**По характеру базирования объекта** захватные устройства делятся на пять групп.

1. Захватные устройства, способные перебазировать объект, могут изменять положение удерживаемой детали благодаря управляемым действиям рабочих элементов. Этим свойством обладают только антропоморфные хватные устройства с управляемыми шарнирными пальцами.
2. Центрирующие хватные устройства определяют положение оси или плоскости симметрии захватываемого объекта. Это, прежде всего, механические хватные устройства, оснащенные кинематически связанными рабочими элементами, имеющие губки в виде призм и т.п. В ряде случаев центрировать могут и хватные устройства с эластичными камерами.
3. Базирующие хватные устройства определяют положение базовой поверхности (или поверхностей), что характерно для поддерживающих хватных устройств, но часто используются и в зажимных хватных устройствах.
4. Фиксирующие хватные устройства сохраняют положение объекта, которое тот имел в момент захватывания.
5. Хватные устройства, не обеспечивающие базирования или фиксации объекта, для оснащения промышленных роботов почти не применяются.

В зависимости от назначения (например, в сборочных промышленных роботах) хватные устройства могут оснащаться дополнительными приспособлениями для выполнения ориентирующих перемещений.

Хватные устройства с приспособлениями для выполнения технологических операций расширяют область применения промышленных роботов и сокращают цикл его работы. Такие хватные устройства могут быть командными, жесткопрограммируемыми или адаптивными. К их числу можно отнести хватные устройства, которые оснащены приспособлениями для локальных перемещений заготовок при загрузке металлорежущих станков. Применяют хватные устройства, оснащенные соплами для очистки сжатым воздухом поверхностей детали и станка, толкателями для отделения и сброса пресс-остатка при листовой штамповке, средствами запрессовки для выполнения монтажных работ и т. п.

Особенно часто оснащают дополнительными приспособлениями хватные устройства, предназначенные для автоматизации

сборочных операций, где требуется сочетание действий, связанных с переносом и соединением деталей.

По числу рабочих позиций захватные устройства можно разделить на *однопозиционные* и *многопозиционные*. По характеру работы многопозиционные захватные устройства в свою очередь делятся на три подгруппы: *последовательного*, *параллельного* и *комбинированного* действия – это, как правило, двухпозиционные устройства, имеющие загрузочную и разгрузочную позиции.

## ЛАБОРАТОРНАЯ ЧАСТЬ

1. Ознакомьтесь с исходными данными, изучите схему сил, действующих в местах контакта заготовки и элементов захвата и схему передаточного механизма.

2. Далее рассчитаем силу тяжести заготовки по формуле:

$$P_{mg} = M \cdot g, \quad (3.1)$$

где

$M$  – масса заготовки, [кг];

$g$  – ускорение свободного падения, [ $\text{м}/\text{с}^2$ ] (принять как  $g=9,8 \text{ м}/\text{с}^2$ );

3. Реакции, действующие со стороны губок на заготовку, найдем по формуле 3.2:

$$N_1 = N_2 = \frac{P_{mg} \cdot \sin \alpha_2}{2 \cdot f_{mp} \cdot (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)},$$
$$N_3 = N_4 = \frac{P_{mg} \cdot \sin \alpha_1}{2 \cdot f_{mp} \cdot (\sin \alpha_2 + \sin \alpha_1)}, \quad (3.2)$$

где

$P_{mg}$  – сила тяжести заготовки, [Н];

$g$  – ускорение свободного падения, [ $\text{м}/\text{с}^2$ ] (принять как  $g=9,8 \text{ м}/\text{с}^2$ );

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы, соответственно первой и второй призмы, [град]  $\frac{\alpha}{2}$ ;

$f_{mp}$  – коэффициент трения;

4. Силы трения рассчитываются исходя из полученной схемы по формулам 3.3:

$$F_{mp1} = F_{mp2} = \frac{P_{mg} \cdot \sin \alpha_2}{2 \cdot (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)},$$
$$F_{mp3} = F_{mp4} = \frac{P_{mg} \cdot \sin \alpha_1}{2 \cdot (\sin \alpha_2 + \sin \alpha_1)}, \quad (3.3)$$

где

$P_{mg}$  – сила тяжести заготовки, [Н];

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы, соответственно первой и второй призмы, [град]  $\frac{\alpha}{2}$ ;

5. Проверим правильность определения сил по формуле 3.4:

$$\sum Y = 0: F_{mp1} + F_{mp2} + F_{mp3} + F_{mp4} - P_{mg} = 0; \quad (3.4)$$

6. Удерживающие моменты рассчитываются по следующим формулам 3.5:

$$\begin{aligned} M_1 &= N_1 \cdot (a \cdot \sin \alpha_1 - c_1 \cdot \cos \alpha_1) + N_2 \cdot (a \cdot \sin \alpha_1 + c_1 \cdot \cos \alpha_1), \\ M_2 &= N_3 \cdot (a \cdot \sin \alpha_2 + c_2 \cdot \cos \alpha_2) + N_4 \cdot (a \cdot \sin \alpha_2 + c_2 \cdot \cos \alpha_2), \end{aligned} \quad (3.5)$$

где

$N_1, N_2, N_3, N_4$  – реакции, действующие со стороны губок на заготовку, [Н];

$a, c_1, c_2$  – геометрические параметры передаточного механизма, [м];

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы, соответственно первой и второй призмы, [град]  $\frac{\alpha}{2}$ ;

7. Усилие привода передаточного механизма захватного устройства:

$$P = \frac{M_1 + M_2}{b \cdot \eta_p} \cdot \cos \alpha, \quad (3.6)$$

где

$M_1, M_2$  – удерживающие моменты передаточного механизма, [Н·м];

$b, a$  – геометрические параметры передаточного механизма, [м];

$\eta_p$  – коэффициент запаса;  $\eta_p = 0,9 \dots 0,95$

8. Полученные значения сил и моментов захватного устройства свести в общую таблицу.

9. Оформите отчёт по лабораторной работе в соответствии с требованиями преподавателя и подготовьтесь к защите.

### Контрольные вопросы:

1. Типы захватных устройств.
2. Виды захватных устройств.
3. Требования, предъявляемые к захватным устройствам.
4. Назовите основные технические характеристики захватных устройств.

5. Почему грузоподъемность захватного устройства зависит от промышленного робота, а не на оборот?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4** **Изучение системы управления РТК.**

*Цель работы:* Изучить классификацию системы управления промышленными роботами. Приобрести навыки работы с технической литературой и справочниками.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Одно из направлений гибкой автоматизации связано с использованием промышленных роботов, как оборудования для автоматизации в основном вспомогательных операций, таких как загрузка-разгрузка технологического оборудования, автоматическая замена инструментов, проведение автоматического контроля и т.п. В совокупности с оборудованием с числовым программным управлением (ЧПУ) и управляющей компьютерной техникой промышленные роботы обеспечивают автономное функционирование роботизированных технологических комплексов различного назначения.

Одно из главных преимуществ робототехники состоит в относительно простой и быстрой переналадке на решение разных технологических задач и в использовании в различных типах производства – от мелкосерийного до крупносерийного и даже массового. Во многих случаях роботизация является самой доступной формой автоматизации производственных процессов.

**Автооператор** – автоматическая машина, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора или совокупности манипулятора и устройства передвижения и неперепрограммируемого устройства управления.

**Промышленный робот** – 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.

Стандартом определено, что **перепрограммируемость** – свойство промышленного робота заменять управляющую

программу автоматически или при помощи человека. К перепрограммированию относится изменение последовательности и (или) значений перемещений по степеням подвижности и управляющих функций с помощью средства управления.

Таким образом, принципиальное отличие промышленного робота от автооператора состоит в возможности его переналаживаемости на выполнение самых разнообразных манипуляционных действий, в то время как автооператор изначально спроектирован для выполнения строго определенного («жесткого») алгоритма действий. Этим обстоятельством, главным образом, определяется область рационального применения промышленных роботов и автооператоров в различных типах производства. Так, в условиях массового производства коэффициент закрепления операций приближается к единице, т.е. на одном рабочем месте длительное время выполняется одна и та же технологическая операция и надобность в переналадке отсутствует. Следовательно, при этом наиболее целесообразно использовать автооператор. В серийном производстве, напротив, коэффициент закрепления операций нормируется значениями 10...40, что означает частую смену выполняемых на одном рабочем месте в течение месяца технологических операций при наличии переналадок оборудования. В этих условиях более предпочтительно использование промышленных роботов.

**Программное управление промышленным роботом** – автоматическое управление исполнительным устройством промышленного робота по заранее введенной управляющей программе.

**Цикловое управление промышленным роботом** – управление исполнительным устройством промышленного робота, при котором осуществляется программирование последовательности выполнения его движения.

**Позиционное управление промышленным роботом** – управление исполнительным устройством промышленного робота, при котором движение его рабочего органа происходит по заданным точкам позиционирования без контроля траектории движения между ними.

**Контурное управление промышленным роботом** – управление исполнительным устройством промышленного робота, при котором движение его рабочего органа происходит по заданной

траектории с установленным распределением во времени значений скорости.

**Адаптивное управление промышленным роботом** – управление исполнительным устройством промышленного робота с автоматическим изменением управляющей программы в функции от контролируемых параметров состояния внешней среды.

**Программирование промышленного робота** – составление, ввод и отладка управляющей программы промышленного робота.

**Аналитическое программирование промышленного робота** – программирование промышленного робота, при котором управляющую программу составляют на основе расчета и затем заносят в устройство управления.

**Обучение промышленного робота** – программирование промышленного робота, при котором составление и ввод управляющей программы осуществляет человек оператор при помощи предварительного движения рабочего органа с занесением в устройство управления значений параметров этого движения в виде управляющей программы.

Условно устройство промышленного робота можно разделить на две составляющие; это: механическая часть (манипулятор) и устройство управления рис. 4.1.



Рис. 4.1. Структура промышленного робота.

Система связи робота предназначена для организации обмена информацией между системами робота, между роботом и человеком или другими роботами на понятном им языке.

Цель такого обмена – формулировка человеком заданий роботу, организация диалога между человеком и роботом, контроль за функционированием робота, диагностика неисправностей и регламентная проверка робота. Информация от человека к роботу обычно поступает через пульт управления или через устройство ввода.

Важной характеристикой промышленного робота является тип системы управления.

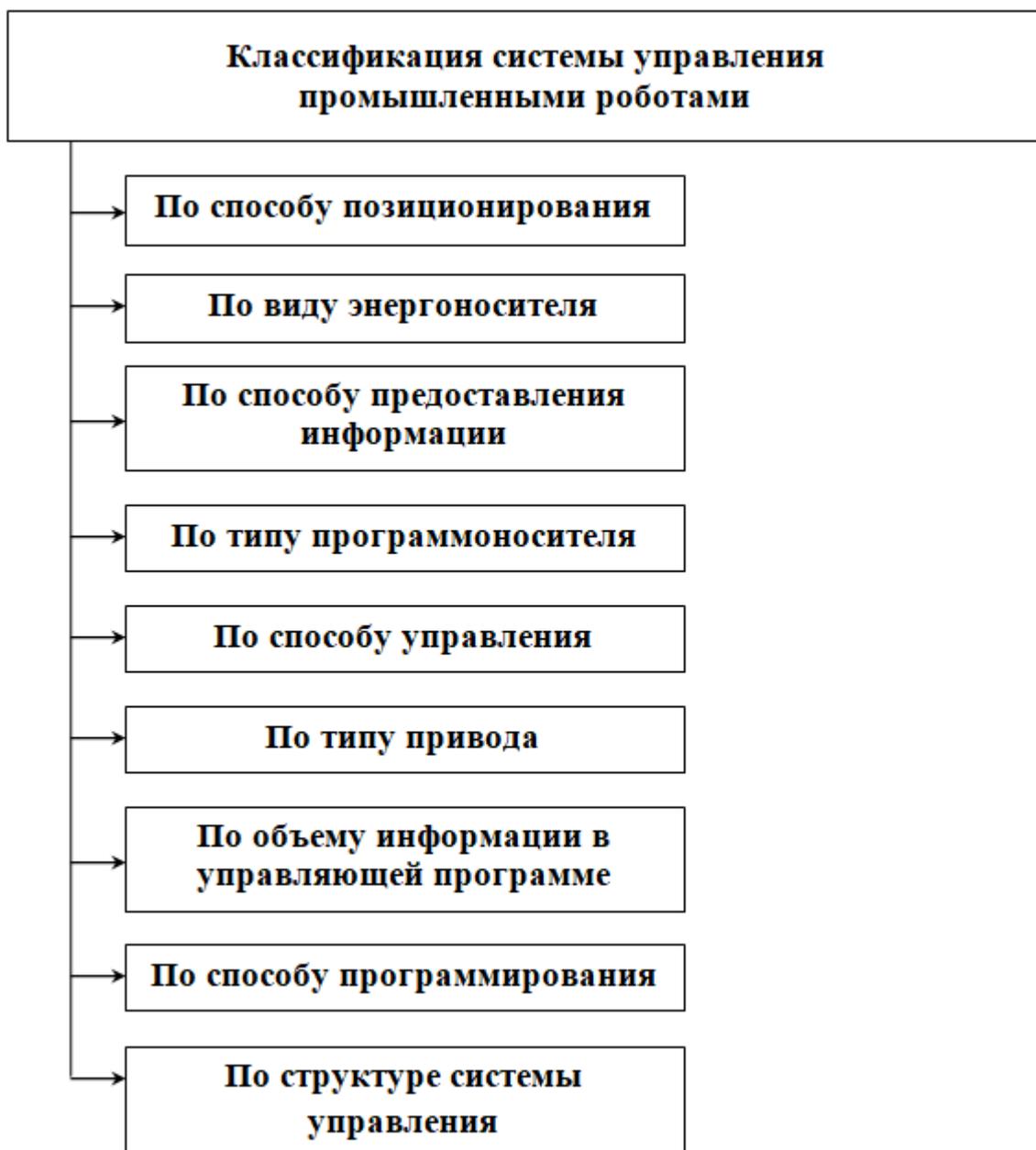
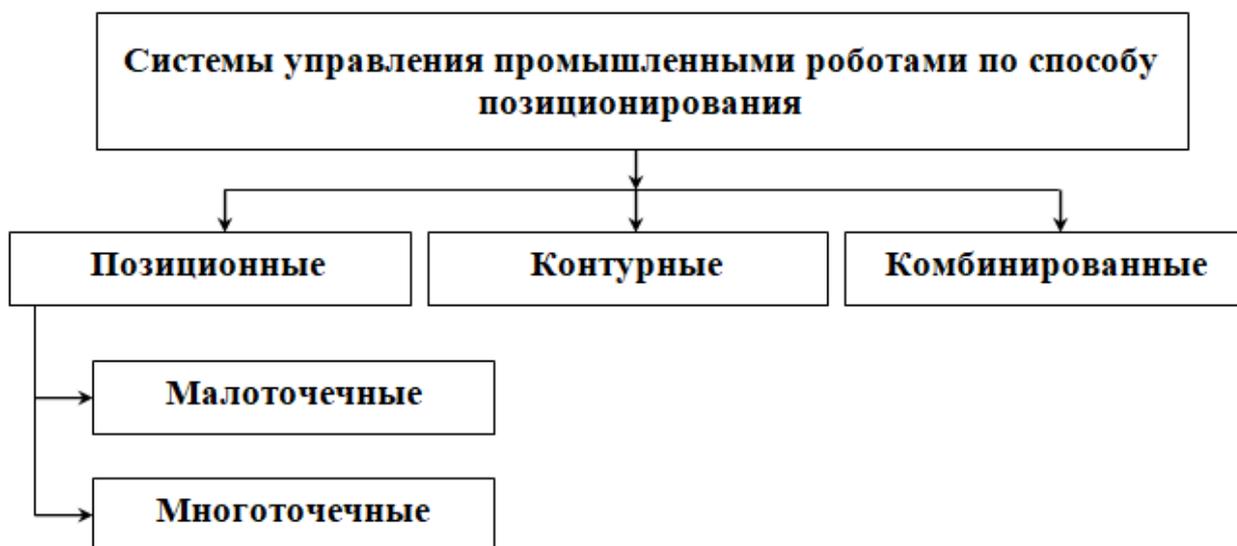


Рис. 4.2. Классификация систем управления промышленными роботами.



*Рис. 4.3. Классификация систем управления промышленными роботами по способу позиционирования.*

**По способу позиционирования** рабочих органов промышленного робота системы управления подразделяют на *позиционные, контурные и комбинированные (универсальные)*. У позиционных систем управления задаются начальное и конечное положения рабочих органов промышленного робота.

Различают *малоточечные* и *многоточечные* позиционные системы управления. У первых число точек позиционирования не более восьми - десяти. У многоточечных систем управления число программируемых позиций - до нескольких сотен и ограничено объемом памяти и допустимой погрешностью позиционирования.

При контурном управлении положение рабочего органа промышленного робота определено в каждый момент времени.

Комбинированные системы управления обеспечивают как позиционное, так и контурное управление промышленным роботом.



*Рис. 4.4. Классификация систем управления промышленными роботами по виду энергоносителя.*

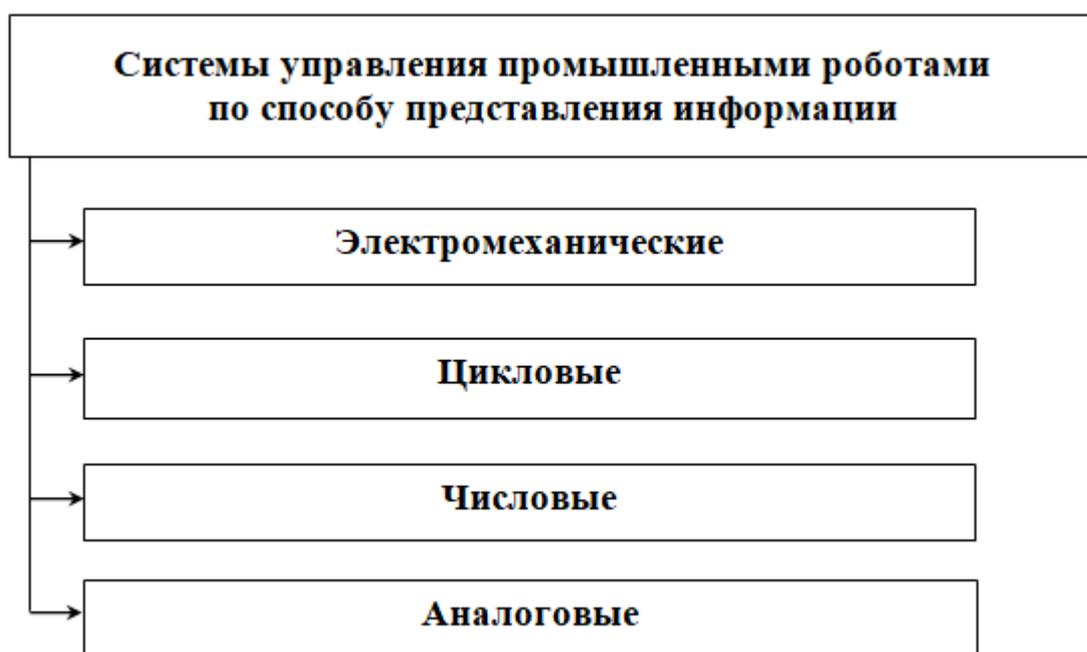
Привод промышленных роботов и манипуляторов можно определить как устройство для преобразования сигналов, поступающих от системы управления, в механическое перемещение исполнительных звеньев.

Прежде чем приступить к конструированию промышленного робота, необходимо выбрать тип привода его основных движений.

Выбор типа привода обусловлен функциональным назначением промышленного робота, условиями его эксплуатации, грузоподъемностью требуемых динамических параметров и системы управления.

От типа и конструкции привода зависят эксплуатационные показатели, габаритные размеры, потребление энергии, уровень шумов, возможность эксплуатации промышленных роботов в различных средах.

Главными параметрами, определяющими свойства того или иного типа привода, являются: мощность, точность, быстродействие обработки сигнала управления, габаритные размеры, масса и стоимость.



*Рис. 4.5. Классификация систем управления промышленными роботами по способу представления информации.*

**По способу представления информации** системы управления разделяют на *электромеханические* (путевые с упорами, временные, кулачковые, копировальные и т. п.), *цикловые*, *числовые*, *аналоговые* и *гибридные*. В

электромеханических системах управления геометрическая информация представлена в виде физического аналога (положение упоров, настройка реле времени и т. п.). Информация о времени и последовательности выполнения шагов программы (цикл работы) может задаваться непереналаживаемыми схемами релейной автоматики. Эти системы управления являются наиболее простыми и обеспечивают наименьшие функциональные возможности промышленного робота. В системах циклового программного управления (ЦПУ) команды цикла задаются в виде чисел, а геометрическая информация - упорами и подключением соответствующих выключателей. Перестройка цикла при использовании внутренних коммутаторов сводится к установке штекеров (переключателей, кнопок и т. п.) в определенные гнезда (положения), а при использовании перфоленты - к ее установке в считывающее устройство. Системы ЦПУ широко применяют для управления промышленными роботами с небольшим числом точек позиционирования. Аналоговые системы управления по выполняемым функциям, простоте, стоимости и области применения мало отличаются от цикловых. Информация в этих системах задается и хранится в виде потенциалов. В качестве элементной базы в аналоговых системах управления используются решающие и операционные усилители постоянного тока. В системах ЧПУ вся информация представляется в числовом виде и хранится на быстросменном носителе (магнитные или перфорированные ленты, барабаны, диски и т. п.). При работе с датчиками обратной связи аналогового типа (потенциометры, силовые датчики и т. п.) системы ЧПУ оснащаются аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) на устройствах входа сигналов. Эти системы обеспечивают наибольшие функциональные возможности промышленного робота, позволяя контролировать выполнение манипуляционных действий и параметров внешней среды и развитую индикацию параметров на устройствах отображения информации. Они могут стыковаться с внешней ЭВМ.

В гибридных системах управления могут использоваться различные способы представления информации.



*Рис. 4.6. Классификация систем управления промышленными роботами по типу программноносителя.*

Системы автоматического управления делятся на аналоговые, числовые, цикловые и электромеханические (системы управления с распределительным валом).

Электромеханические системы управления можно представить как механические копируемые системы, копиры которых обернуты на цилиндры и установлены на один вал. Такие

системы позволяют путем построения циклограммы заранее спроектировать и рассчитать рабочий цикл обработки любой сложности.

В цикловых системах в качестве программносителя используются штекерные панели, наборные поля и т.д., которые используют для задания последовательности элементарных циклов из которых строится полный цикл обработки детали.

В числовых системах в качестве носителя информации используется числовая кодовая комбинация, описывающая геометрию детали и основные технологические функции для ее выполнения. В качестве программносителя используются перфоленты, магнитные ленты, оперативные запоминающие устройства.

В аналоговых системах в качестве программносителя используется физический аналог обрабатываемой детали.



*Рис. 4.7. Классификация систем управления промышленными роботами по способу управления.*

**По способу управления** системы управления делят на *разомкнутые* и *замкнутые*.

В разомкнутых системах нет входной информации о фактическом состоянии промышленного робота и о состоянии внешней среды. Поэтому для управления требуется тщательное соблюдение всех условий технологического процесса и постоянство физических характеристик промышленного робота, что вызывает определенные трудности. Изменение эксплуатационных характеристик промышленного робота в процессе его работы (появление люфтов, увеличение моментов сопротивления в отдельных шарнирных соединениях и механических передачах и т. п.) приводит к изменению точностных характеристик позиционирования, т. е. снижает эксплуатационную надежность промышленного робота. В

настоящее время область применения разомкнутых систем управления сужается.

Этих недостатков лишены промышленные роботы с замкнутой системой управления следящим приводом, где управление осуществляется с учетом текущих параметров состояния промышленного робота путем их сравнения с требуемыми величинами.



Рис. 4.8. Классификация систем управления промышленными роботами по типу привода.

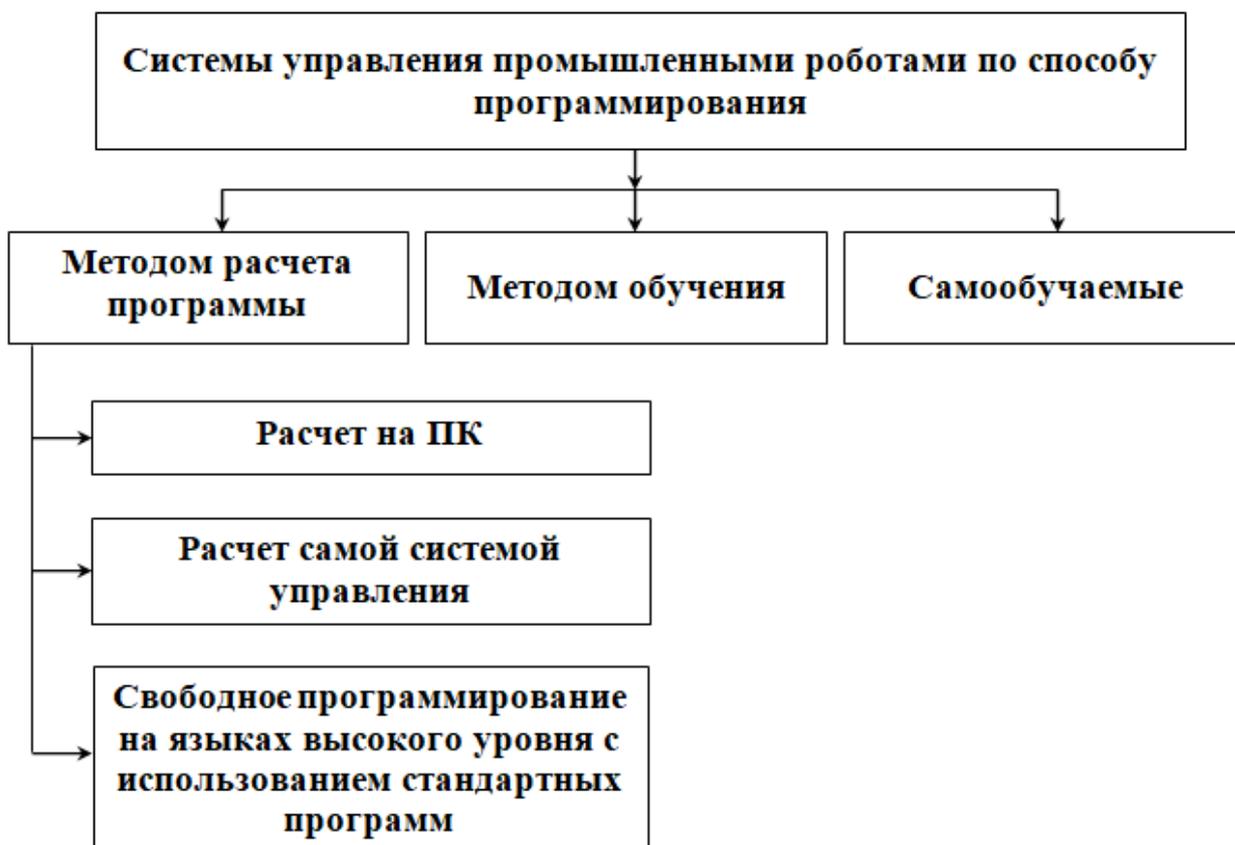


Рис. 4.9. Классификация систем управления промышленными роботами по объему информации в управляющей программе.

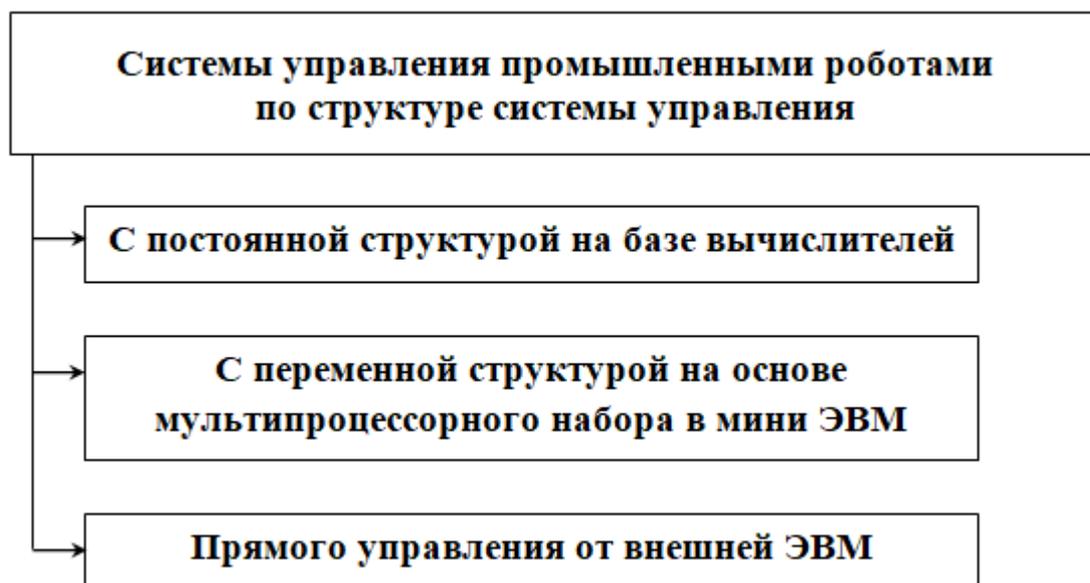
По объему информации в управляющей программе системы управления разделяются на жесткопрограммируемые и адаптивные. В жесткопрограммируемых системах управления

управляющая программа содержит определенный объем информации, не меняющийся в процессе работы промышленного робота. Корректирование программы при изменении параметров внешней среды не обеспечивается.

При программировании адаптивных систем управления не требуется введения полной (для конкретного технологического процесса) информации о параметрах внешней среды. Недостающая информация воспринимается системой управления с помощью внешней информационной системы в процессе работы промышленного робота, что делает допустимым непостоянство условий конкретного технологического процесса и приводит к упрощению программирования, вспомогательных устройств и механизмов, обеспечивающих работу промышленного робота (магазинов, подающих и ориентирующих устройств и т. п.), а в ряде случаев и к уменьшению требуемого объема памяти системы управления.



*Рис. 4.10. Классификация систем управления промышленными роботами по способу программирования.*



*Рис. 4.11. Классификация систем управления промышленными роботами по структуре системы управления.*

Цель управления робототехнического комплекса заключается в выполнении заданного технологического процесса. Для достижения этой цели система управления робототехническим комплексом конструируется таким образом, чтобы она могла, во-первых, построить программные движения исполнительных механизмов роботов и технологического оборудования и, во-вторых, выработать управляющие воздействия на приводы робототехнического комплекса, обеспечивающие фактическую отработку синтезированных программных движений с требуемой точностью в изменяющихся производственных условиях.

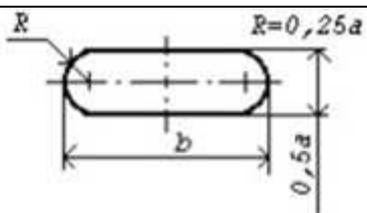
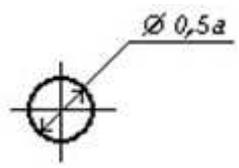
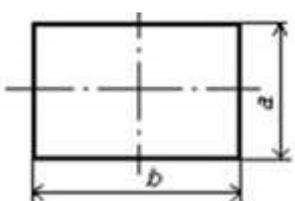
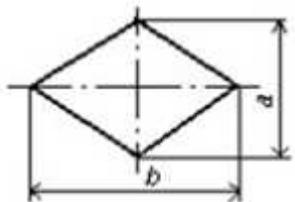
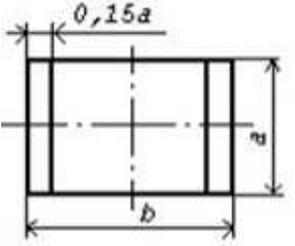
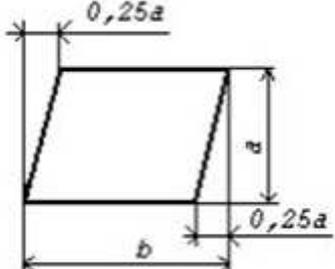
Алгоритм функционирования представляет собой совокупность правил, по которым информация, поступающая в управляющее устройство, перерабатывается в сигналы управления. В нем указаны все основные и вспомогательные перемещения и действия робота, переходы и операции.

Алгоритм позволяет сформулировать требования к системе управления роботом, а также определить места установки датчиков и контрольных устройств.

Основой для создания алгоритма является технологический процесс обработки деталей. При этом алгоритм управления должен охватывать манипуляции промышленного робота по загрузке, разгрузке основного технологического оборудования и укладке деталей в тару.

Имеются условные графические обозначения алгоритмов, которые сведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1.  
Условные графические обозначения алгоритмов

Наименование	Обозначение	Функция
Пуск – останов		Начало, конец, прерывание процесса обработки данных или выполнение программы.
Соединитель		Указание связи между прерванными линиями потока, связывающими символами.
Процесс		Выполнение операций или группы операций, в результате которых изменяется значение, форма представления или расположения данных.
Решение		Выбор направления выполнения алгоритма или программы в зависимости от некоторых переменных условий.
Преопределенный процесс		Использование ранее созданных и отдельно описанных алгоритмов или программ.
Ввод – вывод		Преобразование данных в формулу, пригодную для обработки (ввод) или отображения результатов обработки (вывод).

## ЛАБОРАТОРНАЯ ЧАСТЬ

1. По предложенному варианту составьте алгоритм управления РТК.
2. Составьте классификационную карту системы управления промышленным роботом.
3. Оформите отчёт по лабораторной работе в соответствии с требованиями преподавателя и подготовьтесь к защите.

### Контрольные вопросы:

1. Адаптивные системы управления.
2. Замкнутые и разомкнутые системы управления.
3. Классификационные признаки систем управления.
4. Основное отличие автооператора от промышленного робота.
5. Что является основой для разработки алгоритма управления РТК?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### Изучение системы контроля перемещения объекта.

*Цель работы:* Изучить устройство, принцип работы системы контроля, перемещений объекта мехатронных систем. Приобрести навыки работы с технической литературой и справочниками.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основу любого автоматизированного производства составляют взаимосвязанные между собой системы автоматического управления. Эти системы предназначены для измерения технологических параметров по заданному закону с определённой точностью без вмешательства человека.

В зависимости от выполняемых функций все автоматические системы можно разделить на 4 группы: системы автоматического управления (САУ); системы автоматического регулирования (САР); системы автоматического контроля (САК); системы автоматической защиты (САЗ).

Все системы автоматического управления можно разделить на 5 видов: простые системы управления (нагрев печи); системы

оптимального управления (когда скорость нагрева печи ограничена технологическим процессом); системы программного управления (обработка деталей по заданной программе на металлорежущих станках); системы экстремального управления (самостоятельно определяющие оптимальный режим работы объекта управления (ОУ)); системы функционального управления (требующие выполнения совокупности операций).

Любая автоматическая система управления и контроля содержит в качестве функционально необходимых элементов один или несколько измерительных преобразователей (или датчиков), служащих для измерения действительного значения управляемой или контролируемой (входной) величины и преобразования этого значения в сигнал для дальнейшей передачи по каналам управления.

*По природе выходной величины* все датчики можно подразделить на электрические, гидравлические, пневматические.

*По природе измеряемой (преобразуемой) выходной величины* выделяют: датчики перемещения, температуры, уровня, расхода, положения, скорости, ускорения, давления (или усилия), частоты, светового потока, деформации.

*По виду выходной величины* электрические датчики подразделяют на:

- *параметрические (пассивные)*: контролируемая величина преобразуется в изменение таких параметров как электрическое сопротивление, индуктивность, ёмкость (индуктивный, ёмкостной датчик, фоторезистор);
- *генераторные (активные)*: контролируемая величина преобразуется в изменение заряда, напряжения тока (термопара, фотоэлемент, пьезодатчик).

*По принципу действия* выделяют:

- *датчики сопротивления*: потенциометры, тензорезисторы, терморезисторы, фоторезисторы;
- *датчики индуктивности и взаимной индуктивности*: индуктивные, сельсины, микросины, вращающиеся трансформаторы;
- *магнитно индукционные*: тахогенераторы постоянного и переменного тока, ёмкостные датчики.

*По структуре*:

- *с промежуточным преобразованием энергии*;

- с непосредственным преобразованием энергии.

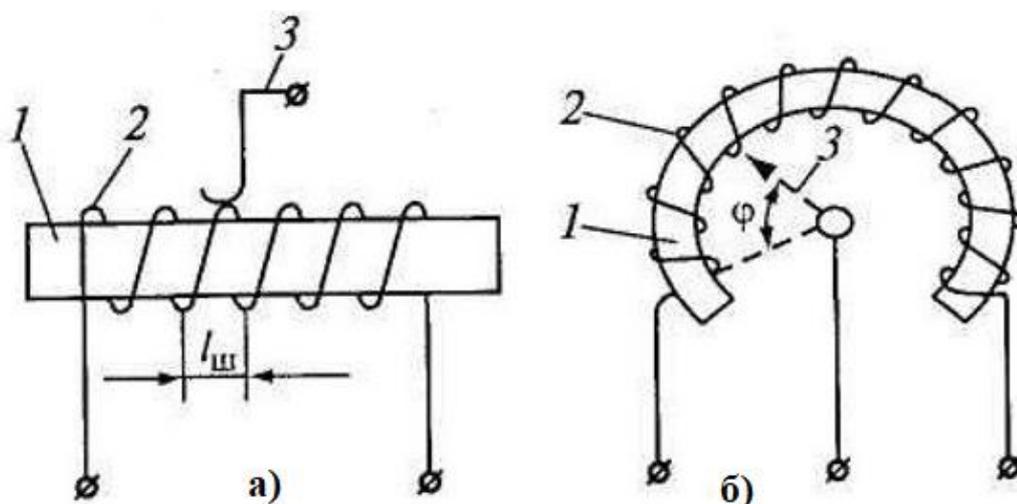
### **Требования к датчикам**

К основным требованиям, предъявляемым к датчикам систем управления, относятся:

- 1) высокая динамическая точность – минимальное искажение формируемого сигнала;
- 2) высокая статическая точность;
- 3) высокая надёжность в условиях, определённых техническими требованиями;
- 4) допустимые габариты и масса;
- 5) достаточно высокий коэффициент преобразования (чувствительность);
- б) достаточно высокая мощность выходного сигнала.

Потенциометрический датчик представляет собой переменный резистор, к которому приложено питающее напряжение, его входной величиной является линейное или угловое перемещение токосъёмного контакта, а выходной величиной – напряжение, снимаемое с этого контакта, изменяющееся по величине при изменении его положения.

Потенциометрические датчики предназначены для преобразования линейных рис 5.1 а, или угловых 5.1 б, перемещений в электрический сигнал, а также для воспроизведения простейших функциональных зависимостей в автоматических устройствах непрерывного типа.



*Рис. 5.1. Потенциометрические датчики.*

*а) линейный, б) угловой*

*1 – стержень, 2 – обмотка, 3 – ползун.*

В данной лабораторной работе предлагается произвести расчёт системы контроля за перемещением груза, определить ошибку измерения и снизить её влияние на результат.

Система контроля за перемещением груза 1 представляет собой потенциометрический преобразователь (датчик) 2, связанный с подвижным блоком 3, через редуктор 4, (рис. 5.2).

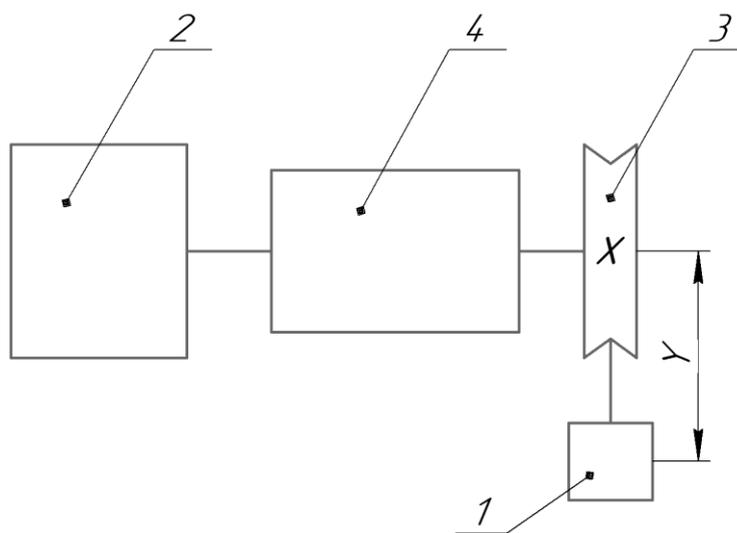


Рис. 5.2. Расчётная схема.

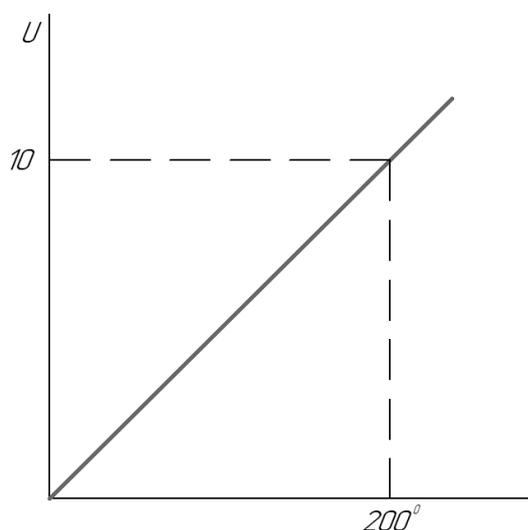


Рис. 5.3. График для определения угла.

Потенциометрические датчики относятся к типу датчиков, преобразующих линейные и угловые перемещения в электрический сигнал и представляющие собой переменное электрическое сопротивление, величина которого зависит от положения токосъемного устройства.

Потенциометрические датчики применяются в различных системах автоматического контроля и регулирования, когда любая регулируемая или контролируемая физическая величина может быть преобразована в перемещение движка датчика.

Таким образом, входной величиной датчика является перемещение  $Y$  или угол поворота движка, тогда как выходной величиной можно считать сопротивление  $R$ , ток  $I$  или напряжение  $U$ .

Потенциометрическим проволочным датчикам присуще наличие зоны нечувствительности, которая обусловлена диаметром токопроводящей проволоки.

Основными эксплуатационными характеристиками потенциометров являются: величина активного сопротивления, номинальная мощность рассеивания, уровень внешних шумов, износоустойчивость и вибропрочность, стабильность величины сопротивления.

Статическая характеристика определяет функциональную зависимость выходного напряжения потенциометра от перемещения его движка:

$$U_{\text{вых}} = U_2 = f(x) \text{ или } U_2 = f(\alpha), \quad (5.1)$$

Для большинства типов потенциометров, используемых в автоматических системах, эта зависимость линейна при условии компенсации влияния нагрузки на точность работы потенциометра.

Влияние нагрузки  $R_n$ , подключенной к выходу потенциометра, характеризуются погрешностью, величина которой выражается в абсолютных (в единицах напряжения) или относительных (в процентах) единицах.

## ЛАБОРАТОРНАЯ ЧАСТЬ

1. Определите, чему равно перемещение груза  $Y$ , какова ошибка измерения  $\varepsilon$ , при каком значении  $Y$  ошибка будет максимальной и что необходимо сделать, чтобы снизить максимальную ошибку до  $\varepsilon_{\text{max}}$ .

2. Используя исходные данные, определяем по формуле 5.1 и рис. 5.3, какой угол соответствует напряжению  $U_{\text{вых}}$  [В]:

$$\varphi = 200^{\circ} \cdot \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{max}}}, \quad (5.1)$$

где

$U_{\text{вых}}$  – текущий выходной сигнал;

$U_{\text{max}}$  – максимальное выходное напряжение датчика;

С учётом передаточного отношения редуктора угол поворота барабана равен:

$$\varphi_{\delta} = \varphi \cdot i_p, \quad (5.2)$$

где

$\varphi$  – расчётный угол, соответствующий напряжению (согласно варианта);

$i_p$  – передаточное отношение редуктора;

Тогда перемещение груза  $Y$  определится по формуле 5.3 как:

$$Y = \varphi_{\delta} \cdot \frac{\pi}{180^{\circ}} \cdot \frac{D}{2}, \quad (5.3)$$

где

$\varphi_{\delta}$  – угол поворота барабана;

$D$  – диаметр блока;

3. Ошибку измерения  $\varepsilon$  определим по формуле 5.4:

$$\varepsilon = \frac{4}{27 \cdot \frac{R_n}{R_{\delta}}} \cdot 100\%, \quad (5.4)$$

где

$R_n$  – сопротивление нагрузке [кОм];

$R_{\delta}$  – нормальное сопротивление датчика [кОм];

4. Так как максимальная ошибка измерения соответствует соотношению наибольшего перемещения движка датчика, то эта ошибка будет соответствовать перемещению:

$$Y^* = Y \cdot \frac{10}{U_{\text{вых}}} \cdot Z, \quad (5.5)$$

где

$Y$  – перемещение груза;

$D$  – диаметр блока;

$U_{\text{вых}}$  – текущий выходной сигнал;

$Z$  – соотношение, максимальной ошибки;

5. Для снижения максимальной ошибки измерения необходимо увеличить сопротивление нагрузки на величину  $R_n^*$ , которая определяется из выражения:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{4}{27 \cdot \frac{R_n + R_n^*}{R_\partial}},$$

(5.6)

где

$R_n$  – сопротивление нагрузке [кОм];

$R_\partial$  – нормальное сопротивление датчика [кОм];

$\varepsilon$  – погрешность измерения

6. Оформите отчёт по лабораторной работе в соответствии с требованиями преподавателя и подготовьтесь к защите.

### **Контрольные вопросы:**

1. Назовите виды систем автоматического управления.
2. Опишите принцип работы потенциметрических датчиков.
3. Требования, предъявляемые к датчикам систем управления.
4. Назовите группы, на которые делятся автоматические системы в зависимости от выполняемых функций.
5. Основные характеристики, по которым классифицируются датчики?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Робототехника/ Ю. Д. Андрианов, Э. П. Бобриков, В. Н. Гончаренко и др.; Под ред. Е. П. Попова, Е. И. Юревича.- М.: Машиностроение, 1984.- 288 с. ил.- (Автоматические манипуляторы и робототехнические системы).
2. Методические указания к практическим работам дисциплины «Робототехника и мехатроника» (для студентов всех форм обучения магистратуры направления 15.04.05. «Конструкторско-технологическая подготовка производства») / Составитель: Горобец И.А. – Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ», 2019 – 68 с.
3. Жавнер В.Л. Мехатронные системы: Учеб. пособие / В. Л. Жавнер, А. Б. Смирнов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 131 с.
4. Козырев Ю. Г. Промышленные роботы: Справочник.- 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1988.- 392 с: ил.
5. Моисеев, Ю. И. Применение промышленных роботов для загрузки металлообрабатывающего оборудования [Текст] : учебное пособие / Ю. И. Моисеев. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2013. – 170 с.
6. Муйземнек, А. Ю. Теория механизмов машин : Учеб. пособие / А. Ю. Муйземнек, А. В. Шорин. – Пенза : Изд-во ПГ, 2019. – 160 с.
7. Отений Я. Н., Ольштынский П. В. Выбор и расчет захватных устройств промышленных роботов: Учебное пособие/ ВолгГТУ, Волгоград, 2005. – 128 с.
8. Оборудование машиностроительных предприятий: Учебник / А. Г. Схиртладзе, В. И. Выходец, Н. И. Никифоров, Я. Н. Отений / ВолгГТУ, Волгоград, 2005. – 128 с.
9. Сырямкин В.И. Информаионные устройства и системы в робототехнике и мехатронике: Учеб. пособие. (Серия: Интеллектуальные технические системы). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016. – 524 с.
10. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы. -Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. - 332 с.: ил.

11. Захватные устройства промышленных роботов. Учебное пособие / К.А. Украженко, Ю.В. Янчевский, А.А. Кулебякин, А.Ю. Торопов. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2007. – 83 с.
12. В. Г. Хомченко Робототехнические системы: Учебное пособие – Омск 2016 г. – 195 с.
13. В. М. Шеменков, Е. В. Ильюшина Учебно-методическое издание: Автоматизация производственных процессов. ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», Могилев, 2018. – 23 с.
14. Шошиашвили М.Э., Шошиашвили И.С., Основы мехатроники и робототехники: Учебно-методическое пособие для практических занятий /М.Э. Шошиашвили, И.С. шошиашвили; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2017. – 24 с.
15. ГОСТ 25686-85 Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Термины и определения.
16. ГОСТ 26063-84 Роботы промышленные. Захватные устройства. Типы, номенклатура основных параметров, присоединительные размеры.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Лабораторная работа-1.</b> Определение основных конструктивно технологических показателей промышленных роботов.....	4
<b>Лабораторная работа-2.</b> Исследование работы промышленного робота.....	18
<b>Лабораторная работа-3.</b> Расчёт захватного устройства промышленного робота.....	27
<b>Лабораторная работа-4.</b> Изучение системы управления робототехническим комплексом.....	37
<b>Лабораторная работа-5.</b> Системы контроля перемещения объекта.....	50
<b>Литература.....</b>	<b>57</b>