

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ

Кафедра "Технология машиностроения"

И.П.Филонов, Л.В.Курч
И.П.Филонов - 560

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ
МАНИПУЛЯТОРАМИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССАХ**

Учебное пособие по курсам "Автоматизация
производственных процессов в машиностроении", "Теория
движения манипуляционных механизмов" для студентов
специальностей 12.01 - "Технология машиностроения",
12.02 - "Металлорежущие станки и инструменты", 21.06 -
"Робототехнические системы и комплексы", 21.03 -
"Автоматизация технологических процессов"

В 3-х частях

Часть 2

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ, ЯЗЫК
ПРОГРАММИРОВАНИЯ ARPS**

Минск 1993

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛУРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра "Технология машиностроения"

И.П. Филонов, Л.В. Курч

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Учебное пособие по курсам "Автоматизация
производственных процессов в машиностроении", "Теория
движения манипуляционных механизмов" для студентов
специальностей I2.01 - "Технология машиностроения",
I2.02 - "Металлорежущие станки и инструменты", 2I.06 -
"Робототехнические системы и комплексы", 2I.03 -
"Автоматизация технологических процессов"

В 3-х частях

Часть 2

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ
РОБОТОВ, ЯЗЫК ПРОГРАММИРОВАНИЯ ARPS

М и н с к 1 9 9 3

УДК 621.865.8

Филонов И.П., Курч Л.В. Моделирование движения и управления манипуляторами в технологических процессах: Учеб. пособие по курсам "Автоматизация производственных процессов", "Теория движения манипуляционных механизмов" для студ. спец. 12.01, 12.02, 21.06, 21.03. - Мн.: БГУА, 1993. - В 3 ч. - Ч. 2. Системы управления манипуляторами промышленных роботов, язык программирования ARPS.- 62 с.

В учебном пособии дана классификация систем управления и раскрыты некоторые особенности работы системы управления промышленного робота PUMA-560. Для овладения навыками практической работы с оборудованием рассмотрены основы языка ARPS системы управления промышленного робота PUMA-560 и разработан ряд вариантов для проведения лабораторных работ.

Первая часть пособия "Математическое моделирование силовых, скоростных и энергетических связей манипуляторов, способы управления" вышла в 1993 г.

Рецензент Ю.И. Матвеев

ISBN5-7830-0419-7

© Филонов И.П., Курч Л.В.,
1993.

1. ОПИСАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Цель работы:

1. Ознакомление с вариантами классификации систем управления.
2. Изучение особенностей контурно-позиционной системы управления ПР PUMA-560.

1.1. Классификация систем управления по уровню программного обеспечения

Промышленные роботы представляют собой совокупность механических манипуляторов (исполнительные системы) и системы управления.

Назначением системы управления промышленного робота является формирование и передача управляющих воздействий элементам исполнительной системы в соответствии с заданной управляющей программой.

Можно выделить следующие системы управления:

- 1 - программное управление;
- 2 - адаптивное управление.

1.1.1. Программное управление

Подавляющее большинство находящихся сегодня в промышленной эксплуатации роботов имеют программное управление.

Системы программного управления исполнительными механизмами роботов делятся на два вида:

- 1) жесткое программное управление,
- 2) программное управление с возможностью перепрограммирования.

Примером роботов, имеющих жесткое программное управление, могут служить автооператоры фирмы "Боинг". В данных автооператорах основными элементами жесткой системы программного управления является приводной вал, на котором жестко закреплены и определенным образом сориентированы друг относительно друга два или три кулачка.

При вращении приводного вала кулачки, соприкасаясь с роликами передаточных механизмов, передают движение механической руке. Причем подъем, опускание, выдвижение или поворот руки, а также сжатие и разжатие схвата, в своей совокупности представляют замкнутый цикл перемещений, согласованность действий которых определяется конфигурацией и взаимным расположением кулачков на приводном валу.

Системы управления роботов, обладающие возможностью перепрограммирования, как правило, могут лишь запоминать последовательность действий, задаваемых оператором с обучающего пульта-приставки или другого механизма ввода программы.

Системы жесткого программного управления, как и перепрограммируемые, не могут производить оценки технологической обстановки, в которой они работают, так как не имеют датчиков и сенсоров, собирающих информацию о внешней среде, и не имеют достаточно развитой вычислительной системы, позволяющей производить обработку этой информации.

Исходя из этого можно сформулировать основные достоинства и недостатки системы программного управления.

Основными достоинствами системы программного управления являются:

1 . Надежность. Выход из строя системы жесткого программного управления, например, связан лишь с износом кулачков (основных носителей жесткого программного движения), а изготовление кулачков из износостойких материалов позволяет значительно увеличить срок службы системы жесткого программного управления.

2 . Высокая точность позиционирования и быстрота выполнения операций.

3 . Сравнительная дешевизна изготовления.

Основной недостаток - отсутствие гибкости в управлении.

Технологическая обстановка, в которой работают данные роботы (автооператоры), должна быть полностью детерминированной (определенной). Это включает: точное позиционирование обрабатываемых деталей; точное определение пространственных связей с другим оборудованием; отсутствие возможности попадания посторонних предметов в рабочую зону робота; обеспечение безопасности людей, находящихся вблизи работающих устройств.

1.1.2. Адаптивное управление

Первые адаптивные роботы появились, когда в систему управления был встроены микропроцессор, позволяющий рассчитывать элементы движения звеньев манипулятора в реальном масштабе времени по всем степеням подвижности. Это позволило реализовать плавные перемещения рабочего органа по заданным траекториям (например, вдоль заданного

в пространстве отрезка прямой линии).

В системе адаптивного управления появились потенциометрические и тахометрические датчики, определяющие пространственное положение и скорость приводных звеньев манипулятора, т. е. внутреннее состояние манипулятора. Вместе с тем, в системе адаптивного управления нашли применение силомоментные и дальномерные датчики, обеспечивающие некоторую адаптивность к условиям внешней среды.

Промышленные роботы с адаптивной системой управления способны распознавать некоторые характеристики внешней среды и перестраивать свою работу или переходить на новый режим при изменяющихся внешних условиях.

1.2. Классификация систем управления по типу реализуемых по отдельным степеням подвижности манипулятора движений

Существуют три основных алгоритма управления движением приводных звеньев манипулятора:

- 1) цикловое управление перемещением звеньев;
- 2) позиционное управление;
- 3) контурное управление.

1.2.1. Цикловое управление

Особенность цикловой системы управления состоит в том, что с ее помощью может быть запрограммирована только последовательность работы исполнительных механизмов робота, т. е. последовательность перемещений звеньев робота, а величины этих перемещений задаются обычно с помощью передвижных упоров, воздействующих на путевые переключатели приводов этих звеньев.

Среди устройств циклового программного управления можно выделить следующие:

- программаторы (кулачковые командоаппараты);
- штекерные программаторы;
- микропрограммное управление.

I. Кулачковый программатор.

Принципиальная схема кулачкового программатора изображена на рис. 1.1. Он состоит из барабана 1, на котором в нужном порядке крепятся кулачки 2 путевых переключателей 3 привода, состоящего из

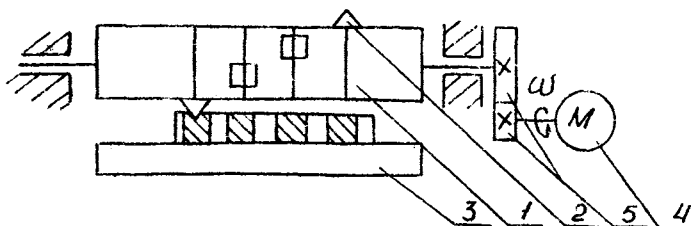


Рис. I.1. Кулачковый программатор

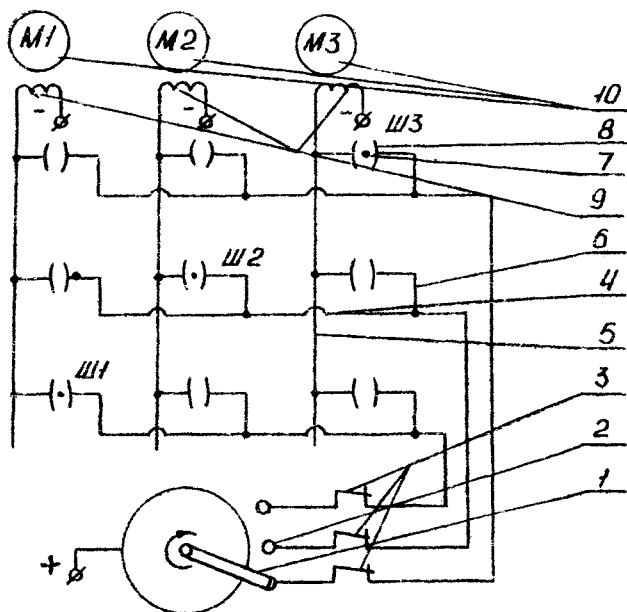


Рис. I.2. Штекерный программатор

электродвигателя 4 и редуктора 5.

Кулачковый программатор работает следующим образом.

Вращение от электродвигателя 4 через редуктор 5 передается барабану 1, при вращении которого кулачки 2 нажимают в определенной последовательности и через определенные промежутки времени на переключатели. Включение путевого переключателя приводит к включению соответствующего приводного двигателя, перемещающего звено манипулятора, и звено будет перемещаться до тех пор, пока от путевого переключателя не поступит сигнал на отключение данного приводного двигателя.

2. Штекерный программатор.

Принципиальная схема штекерного программатора изображена на рис. 3.2. Штекерный программатор состоит из шагового искателя 1, контактных клемм 2, путевых переключателей 3, горизонтальных шин 4, вертикальных шин 5, штекерных цепей 6, штекеров 7, штекерных гнезд 8. Обмотки возбуждения 9 приводных электродвигателей 10 являются выходными элементами штекерного программатора.

Штекерный программатор работает следующим образом.

Приводной электродвигатель через редуктор вращает шаговый искатель 1, который последовательно замыкает контактные клеммы 2. Если путевой переключатель 3 находится в замкнутом состоянии, а один из штекеров (например, ШЗ, рис.1.2) вставлен в штекерное гнездо 8 и замыкает соответствующую штекерную цепь, то электрический ток запитывает соответствующую обмотку возбуждения 9, что приводит во вращение соответствующий приводной двигатель (в данном примере - двигатель МЗ, рис.1.2), перемещающий соответствующее звено манипулятора. Перемещение звена робота происходит до тех пор, пока упор, находящийся на звене, не разомкнет соответствующий путевой переключатель 3.

3. Микропрограммное управление с помощью электронного циклового программатора устройства (ЭЦ ПУ-6030).

Структурная схема ЭЦПУ-6030 представлена на рис.1.3.

Устройство состоит из блока управления 1, блока усилителя 2, программноносителя 3, блока питания 4, пульта управления 5.

Устройство работает следующим образом.

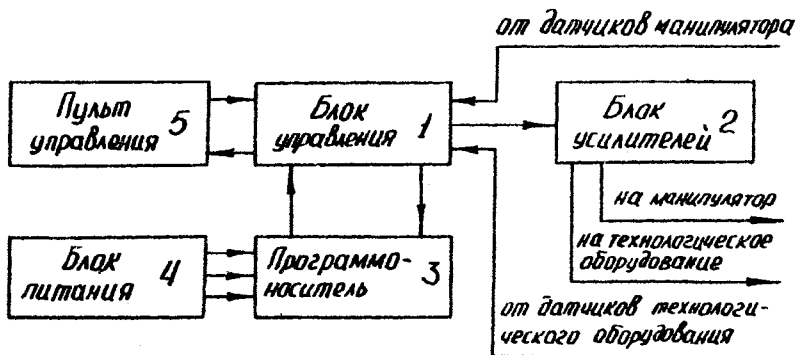


Рис. 1.3. Структурная схема микропрограммного управления ЭЦПУ-6030

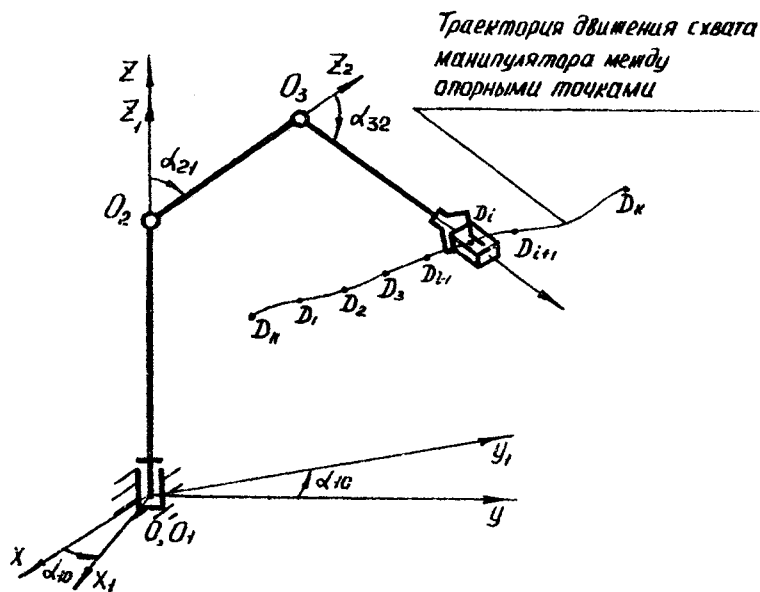


Рис. 1.4. Опорные точки траектории движения схвата манипулятора

Оператор при помощи пульта управления 5 производит включение блока питания 4 и задает требуемый режим работы устройства. Блок питания 4 обеспечивает питанием электронное оборудование, датчики манипулятора и технологическое оборудование. Затем оператор при помощи программноносителя 3 набирает требуемую программу работы робота, т.е. последовательность перемещений звеньев робота и последовательность рабочих движений технологического оборудования. Блок управления в соответствии с записанной программой выдает управляющие воздействия на манипулятор и технологическое оборудование через блок усилителей 2. Обработка заданного перемещения осуществляется манипулятором и технологическим оборудованием до тех пор, пока от датчиков обратной связи (например, датчиков конечного положения) манипулятора или технологического оборудования не поступят сигналы о прекращении данных перемещений и переходе на выполнение следующего кадра программы.

1.2.2. Позиционное управление

Особенность позиционной системы управления состоит в том, что имеется возможность задания и последовательного прохождения схватом манипулятора конечного числа точек какой-либо траектории при осуществлении операций определенного техпроцесса.

Однако в отличие от цикловой системы управления при позиционном управлении приводные двигатели звеньев работают не последовательно, а одновременно. Таким одновременную взаимосвязанную работу приводных двигателей осуществить значительно сложнее, чем последовательную. Следовательно, организация позиционной системы управления будет значительно сложнее, чем цикловой.

Рассмотрим два варианта организации позиционной системы управления.

1. Упрощенная позиционная система управления (вариант I).

На рис. 1.4 изображен ряд опорных точек $D_n, D_1, D_2 \dots D_k$, вдоль которых должен пройти схват манипулятора. Причем траектория и скорость между заданными опорными точками не играют никакой роли.

На рис. 1.5 изображена структурная схема робота с системой позиционного управления (вариант I).

Основными блоками системы позиционного управления являются

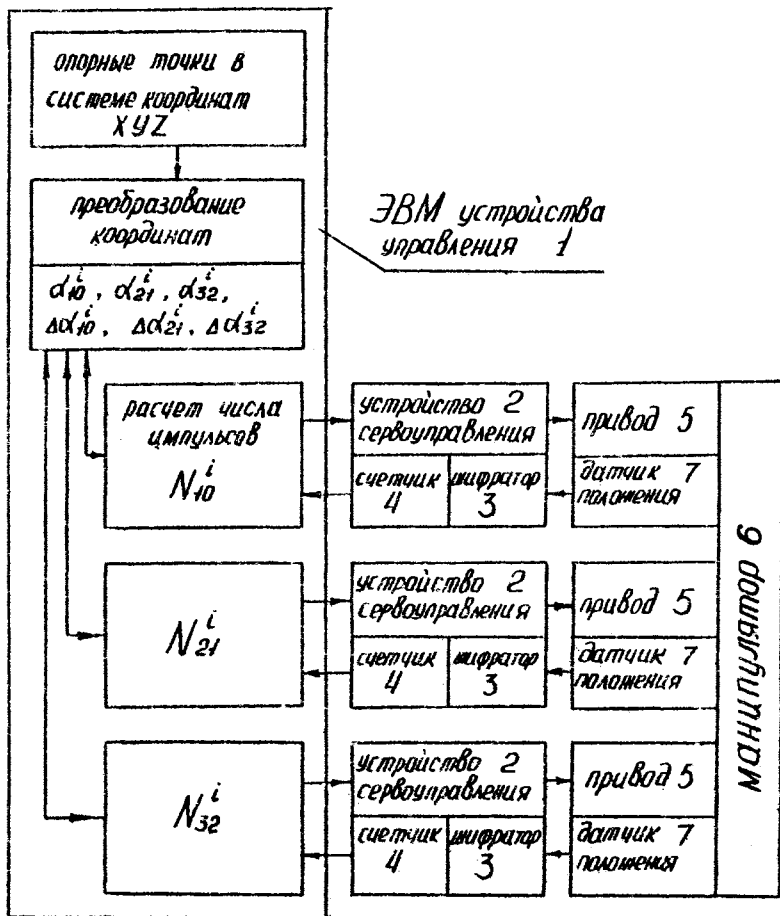


Рис. 1.5. Структурная схема робота с системой позиционного управления (вариант I)

ЭВМ-1 и устройство сервоуправления 2, имеющие шифратор 3 и счетчик 4. Устройство сервоуправления выдает управляющие воздействия на приводы 5 манипулятора 6, имеющего датчики положения 7.

Система позиционного управления работает следующим образом.

Оператор с клавиатуры дисплея задает в неподвижной декартовой системе координат X, Y, Z ряд опорных точек $D_0, D_1, D_2 \dots D_k$ (рис. 1.4). ЭВМ системы позиционного управления производит преобразование координат, т.е. рассчитывает значения обобщенных координат $\alpha_{10}^i, \alpha_{21}^i, \alpha_{32}^i$, соответствующие каждой опорной точке D_i , а также разность значений обобщенных координат,

$$\left. \begin{aligned} \Delta \alpha_{10}^i &= \alpha_{10}^i - \alpha_{10}^{i-1}; \\ \Delta \alpha_{21}^i &= \alpha_{21}^i - \alpha_{21}^{i-1}; \\ \Delta \alpha_{32}^i &= \alpha_{32}^i - \alpha_{32}^{i-1}, \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

соответствующих каждому двум соседним опорным точкам D_i и D_{i-1} .

Причем для каждого приводного двигателя имеется строго определенное значение единичного угла поворота $\Delta \alpha_{10}^{Ed}, \Delta \alpha_{21}^{Ed}, \Delta \alpha_{32}^{Ed}$, соответствующее одному управляющему импульсу, подаваемому на электропривод. Следующим действием ЭВМ является расчет числа управляющих импульсов, подаваемых на каждый электропривод для отработки текущей разности обобщенных координат $\Delta \alpha_{10}^i, \Delta \alpha_{21}^i, \Delta \alpha_{32}^i$ и прохождения схвата манипулятора из точки $i-1$ в точку i .

Расчет числа импульсов происходит по формулам (1.2)

$$\left. \begin{aligned} N_{10}^i &= \frac{\Delta \alpha_{10}^i}{\Delta \alpha_{10}^{Ed}}; \\ N_{21}^i &= \frac{\Delta \alpha_{21}^i}{\Delta \alpha_{21}^{Ed}}; \\ N_{32}^i &= \frac{\Delta \alpha_{32}^i}{\Delta \alpha_{32}^{Ed}}. \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

Затем ЭВМ выдает на каждое из устройств сервоуправления число управляющих импульсов $N_{10}^i, N_{21}^i, N_{32}^i$.

Каждое из устройств сервоуправления имеет шифратор и вычитающий счетчик. Устройства сервоуправления различных приводов в одинаковые промежутки времени выдают на приводы управляющие импульсы, приводы перемещают соответствующие звенья манипулятора, а датчики положения контролируют это перемещение и выдают информацию о нем на шифраторы устройств сервоуправления.

Шифраторы преобразуют аналоговую информацию датчиков положения в дискретные импульсы и отправляют их на вычитающий вход счетчиков. Каждый из приводов манипулятора перемещается до тех пор, пока число управляющих импульсов, находящихся в счетчике, из первоначального значения N_i не перейдет в нулевое значение. Причем схват манипулятора, идущий из точки D_{i-1} в точку D_i , придет в точку D_i тогда, когда обнулится все счетчики устройств сервоуправления.

В этот момент времени в счетчики сервоуправления ЭВМ занесет следующие числа управляющих импульсов, рассчитанные по формулам (1.3):

$$\left. \begin{aligned} N_{10}^{i+1} &= \frac{\Delta \alpha_{10}^{i+1}}{\Delta \alpha_{10}^{Ed}} = \frac{\alpha_{10}^{i+1} - \alpha_{10}^i}{\Delta \alpha_{10}^{Ed}} ; \\ N_{21}^{i+1} &= \frac{\Delta \alpha_{21}^{i+1}}{\Delta \alpha_{21}^{Ed}} = \frac{\alpha_{21}^{i+1} - \alpha_{21}^i}{\Delta \alpha_{21}^{Ed}} ; \\ N_{32}^{i+1} &= \frac{\Delta \alpha_{32}^{i+1}}{\Delta \alpha_{32}^{Ed}} = \frac{\alpha_{32}^{i+1} - \alpha_{32}^i}{\Delta \alpha_{32}^{Ed}} . \end{aligned} \right\} (1.3)$$

Этот процесс последовательного прохождения схватом манипулятора точек D_i будет продолжаться до тех пор, пока схват не достигнет своего конечного положения точки D_k .

2. Позиционная система управления с расчетом динамики манипулятора и синхронизацией движения звеньев по ведущему звену (вариант II).

Данный вариант позиционной системы управления применяется в системе управления промышленного робота PUMA-560.

На рис. 1.6 изображен ряд опорных точек $D_0, D_1, D_2 \dots D_k$, через которые должен пройти схват манипулятора ПР PUMA-560.

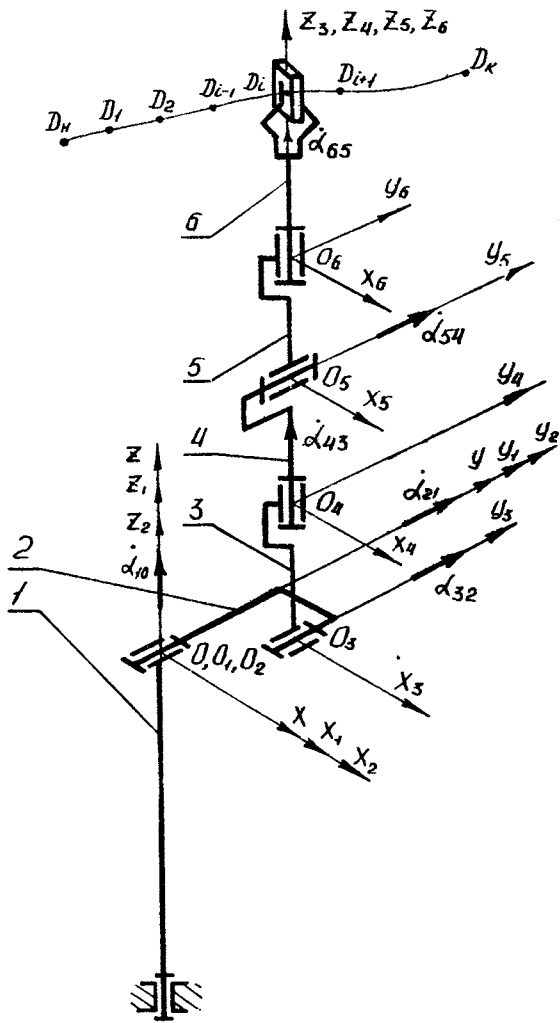


Рис. 1.6. Опорные точки траектории движения схвата манипулятора ПР РИМА-560

$\alpha_{10}, \alpha_{21}, \alpha_{32}, \alpha_{43}, \alpha_{54}, \alpha_{65}$ - обобщенные координаты манипулятора.

$X Y Z$ - неподвижная система координат (WORLD), жестко связанная с основанием манипулятора.

$X_1 Y_1 Z_1, X_2 Y_2 Z_2, X_3 Y_3 Z_3, X_4 Y_4 Z_4, X_5 Y_5 Z_5$ - подвижные системы координат, жестко связанные с 1-м, 2-м, 3-м, 4-м, 5-м звеньями манипулятора соответственно.

$X_6 Y_6 Z_6$ - подвижная система координат инструмента (TOOL), жестко связанная с 6-м звеном манипулятора.

На рис. 1.7 изображена структурная схема робота PUMA-560 с системой позиционного управления (вариант II).

Основными блоками данной системы позиционного управления являются: центральная вычислительная машина 1, дисплей и клавиатура 2, ручное управление 3, блок FLOPPY-диска 4, входной и выходной интерфейсы 5, усилители мощности 6, рабочий блок 7, сервоуправление 8, печатающее устройство 9.

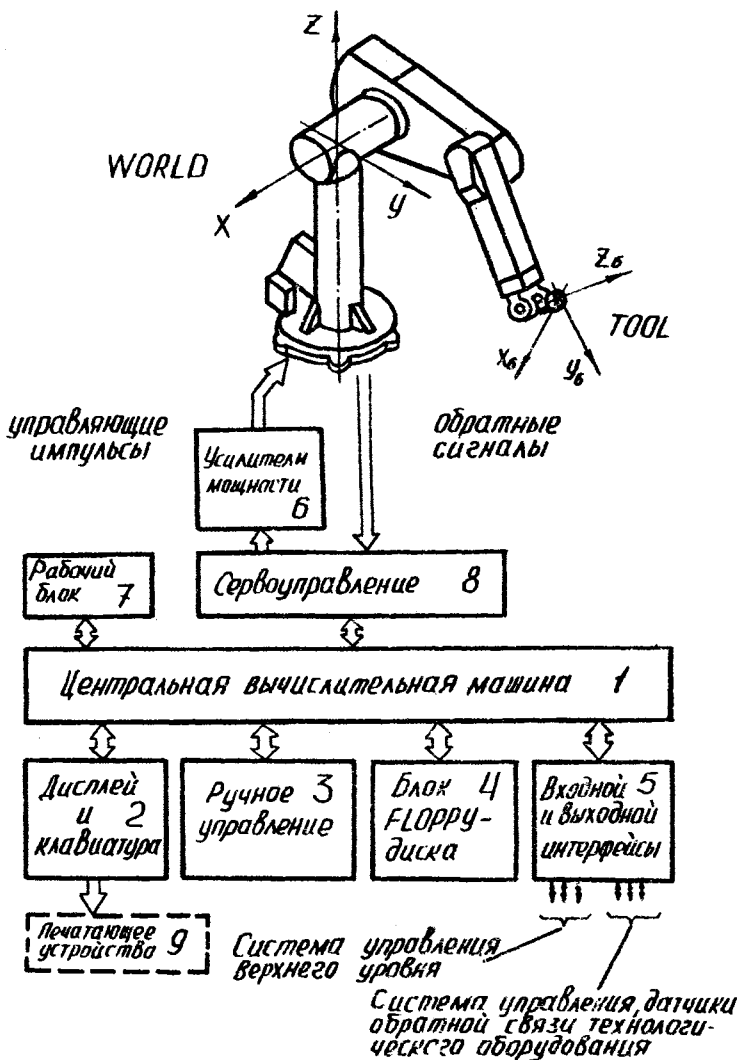
Данная система позиционного управления роботом работает следующим образом.

Оператор при помощи дисплея и клавиатуры 2, а также ручного управления 3, в неподвижной декартовой системе координат WORLD задает ряд опорных точек $D_n, D_1, D_2 \dots D_k$ (рис 1.6), а также задает уровень скорости между опорными точками D_i , причем этот уровень между различными опорными точками может быть разным.

Центральная вычислительная машина 1 производит преобразование координат, т.е. рассчитывает значения обобщенных координат, соответствующие каждой опорной точке D_i , а также разность значений этих обобщенных координат:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \alpha_{10}^i &= \alpha_{10}^i - \alpha_{10}^{i-1} ; \\ \Delta \alpha_{21}^i &= \alpha_{21}^i - \alpha_{21}^{i-1} ; \\ \Delta \alpha_{65}^i &= \alpha_{65}^i - \alpha_{65}^{i-1} . \end{aligned} \right\} (1.4)$$

Работа системы управления ПР PUMA-560 имеет некоторые особенности.



✓ Рис. 1.7. Структурная схема системы управления ПР PUMA-560

Г). Синхронизация работы приводных двигателей по ведущему звену.

Рассмотрим участок траектории между двумя опорными точками D_i и D_{i-1} . На рис. 1.8, 1.9 представлены графики изменения обобщенных координат от времени приводных двигателей 1-го и 2-го звеньев манипулятора.

На рис. 1.8, 1.9 кривые 1 показывают графики изменения обобщенных координат α_{10}^i и α_{21}^i от времени t , если данные приводные двигатели будут обрабатывать участки перемещений $\Delta \alpha_{10}^i$ и $\Delta \alpha_{21}^i$ с одинаковыми угловыми скоростями. Допустим, что время отработки i -го участка траектории при одинаковых угловых скоростях у приводного двигателя 1-го звена-наибольшее и равно t_2 . Для того, чтобы приводной электродвигатель 2-го звена в промежутке времени $t_1 - t_2$ не стоял, центральная вычислительная машина 1 производит синхронизацию работы приводных двигателей по ведущему звену. На данном участке траектории это - звено 1. Для этого рассчитываются коэффициенты для каждого звена, кроме ведущего,

$$\left. \begin{aligned} K_{21}^i &= \frac{\Delta \alpha_{21}^i}{\Delta \alpha_{10}^i} ; \\ K_{32}^i &= \frac{\Delta \alpha_{32}^i}{\Delta \alpha_{10}^i} ; \\ &\dots \\ N_{65}^i &= \frac{\Delta \alpha_{65}^i}{\Delta \alpha_{10}^i} . \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

Законы изменения обобщенных координат на i -ом участке будут иметь следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{21}^{\text{тек}} &= \alpha_{21}^{i-1} + K_{21}^i \alpha_{21}^{\text{тек}} ; \\ \alpha_{32}^{\text{тек}} &= \alpha_{32}^{i-1} + K_{32}^i \alpha_{32}^{\text{тек}} ; \\ &\dots \\ \alpha_{65}^{\text{тек}} &= \alpha_{65}^{i-1} + K_{65}^i \alpha_{65}^{\text{тек}} . \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

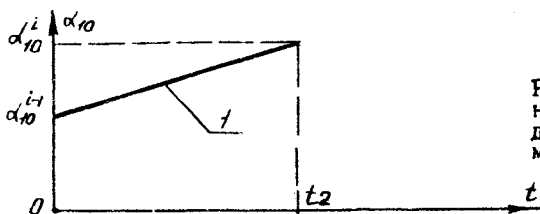


Рис. I.8. График изменения обобщенных координат α_{10} и α_{21} от времени t

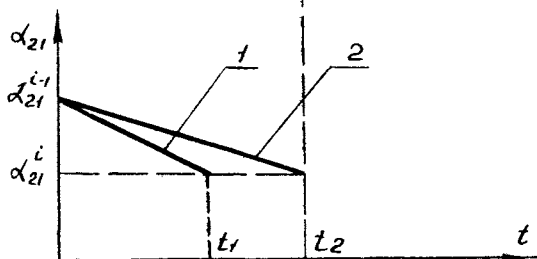


Рис. I.9. График изменения обобщенных координат от времени

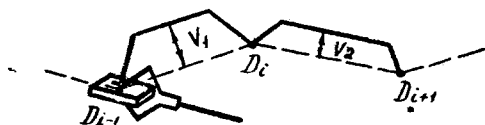


Рис. I.10. Трапецидальный график движения схвата манипулятора с заданными уровнями скорости V_1 и V_2

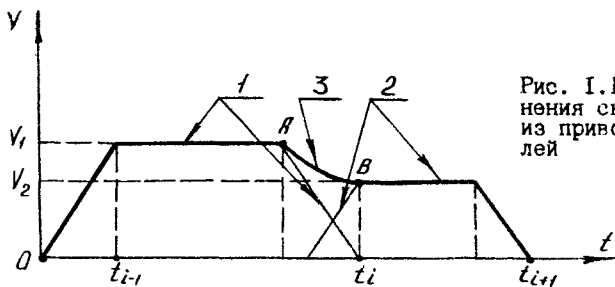


Рис. I.11. График изменения скорости одного из приводных двигателей

Иначе говоря, работа двигателей будет синхронизирована по ведомому звену. На рис.1.9 закон изменения обобщенной координаты α_{21} , синхронизированный по ведущему звену, показан кривой 2.

2). Формирование непрерывного закона изменения скорости между опорными точками траектории.

После синхронизации работы приводных двигателей по ведущему звену на каждом участке между опорными точками центральная вычислительная машина производит формирование непрерывного закона изменения скоростей приводных двигателей. Это осуществляется за счет суперпозиции (сложения) законов изменения скорости приводных двигателей на участках торможения и разгона вблизи опорных точек D_i .

На рис.1.10 представлены три опорные точки D_{i-1} , D_i и D_{i+1} , через которые должен пройти схват манипулятора с заданными уровнями скорости V_1 и V_2 . Вид графика $V(t)$ обычно является трапецеидальным.

На рис.1.11 представлены графики изменения скорости одного из приводных двигателей: на участке $(D_{i-1}; D_i)$ - график 1, на участке $(D_i; D_{i+1})$ - график 2, вблизи опорной точки D_i - график 3. График 3 (участок АВ) является суперпозицией графиков 1 и 2 на участке разгона-торможения и позволяет осуществлять плавный переход от одного уровня скорости к другому (например, от V_1 к V_2) вблизи опорных точек.

3). Формирование управляющих воздействий на приводные двигатели с учетом динамики манипулятора.

После формирования непрерывных законов изменения скорости приводных двигателей при движении схвата манипулятора через опорные точки траектории необходимо произвести точную их обработку. А это возможно только при учете всех сил, действующих на приводные двигатели во время их работы.

Промышленный робот PUMA-560 в качестве приводных двигателей имеет электродвигатели постоянного тока.

Управляющими воздействиями для данных электродвигателей являются:

1. Сила тока I в цепи якоря электродвигателя.

Сила тока, протекающая через якорь электродвигателя, прямо пропорциональна движущему моменту $M^{ДВ}$, развиваемому этим электродвигателем.

2. Величина напряжения U , приложенного к электродвигателю.

Напряжение, приложенное к электродвигателям, прямо пропорционально угловой скорости $\alpha_{10}, \alpha_{21}, \dots, \alpha_{55}$, развиваемой этими электродвигателями.

Следующим этапом работы центральной вычислительной машины 1 является дифференцирование по времени известных законов изменения скорости приводных электродвигателей и получение графиков ускорения приводных двигателей от времени. Зная массово-геометрические характеристики подвижных звеньев манипулятора, тензоры инерции всех звеньев, центральная вычислительная машина 1 определяет моменты инерции, действующие на приводные двигатели со стороны звеньев,

$$M_i^{\text{ин}} = \sum_{j=1}^n D_{ij} \ddot{\alpha}_{j, j-1}, \quad (1.7)$$

где n - число звеньев манипулятора; i - порядковый номер звена, на приводной двигатель которого действует данный инерционный момент; D_{ij} - коэффициент, учитывающий массово-геометрические характеристики звеньев; $\ddot{\alpha}_{j, j-1}$ - угловые характеристики звеньев.

Моменты инерции самих приводов определяются по формуле

$$M_i^{\text{ин}} \text{ привода} = J_{a_i} \ddot{\alpha}_{i, i-1}, \quad (1.8)$$

где J_{a_i} - инерция привода i -го звена (тензор инерции); $\ddot{\alpha}_{i, i-1}$ - угловое ускорение привода i -го звена.

Моменты от центробежных и кориолисовых сил вычисляются по формулам 1.9 и 1.10 соответственно:

$$M_i^{\text{цб}} = \sum_{j=1}^n D_{ijj} \left(\dot{\alpha}_{j, j-1} \right)^2; \quad (1.9)$$

$$M_i^{\text{кориол}} = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n D_{ijk} \dot{\alpha}_{j, j-1} \dot{\alpha}_{k, k-1}. \quad (1.10)$$

Моменты от сил тяжести вычисляются по формуле 1.11

$$M_i^G = \sum_{p=1}^n m_p \bar{g} U_{pi} Z_p, \quad (1.11)$$

где m_p - масса звена p ; \bar{g} - ускорение свободного падения ($\approx 9,8$ м/с²); U_{pi} - матрица перехода из p -той подвижной системы координат в i -тую; Z_p - радиус-вектор центра массы звена p в p -той системе координат.

Таким образом, движущий момент $M^{ДВ}$, который должен развить i -тый приводной двигатель при перемещении схвата вдоль опорных точек D_i , рассчитывается по формуле

$$M_i^{ДВ} = M_i^{ин} + M_i^{ин} \text{ привода} + M_i^{цб} + M_i^{кориол} + M_i^g. \quad (1.12)$$

Для управления i -тым приводным двигателем центральная вычислительная машина рассчитывает закон изменения тока $I f_1(t)$ такой величины, который, проходя через обмотку якоря i -го электродвигателя, смог бы создать движущий момент, равный рассчитанному,

$$M_i^{ДВ} = f_2(t).$$

Система позиционного управления ПР РУМА-560 построена по принципу замкнутого контура. Центральная вычислительная машина 1 вырабатывает синхронизированные во времени импульсы, поступающие на каждый из шести блоков сервоуправления 8. Блоки сервоуправления 8 через усилители мощности 6 выдают на приводные двигатели манипулятора ток I и напряжение U по заранее рассчитанным законам. Причем сила тока I прямо пропорциональна движущему моменту $M_{расч.}^{ДВ}$, а напряжение $U_{расч.}$ прямо пропорционально угловым скоростям $\alpha_{10}^{расч.}$, $\alpha_{21}^{расч.}$, ..., $\alpha_{65}^{расч.}$ приводных электродвигателей.

По сигналам обратных связей, поступающим от приводных электродвигателей на блоки сервоуправления 8, определяются действительные движущие моменты $M_{действ.}^{ДВ}$ и действительные угловые скорости $\alpha_{10}^{действ.}$, $\alpha_{21}^{действ.}$, ..., $\alpha_{65}^{действ.}$. Блоки сервоуправления 8 сравнивают действительные значения с расчетными и сигналом их рассогласования производят дополнительную корректировку в управлении электроприводами манипулятора.

1.2.3. Контурное управление

Особенность контурной системы управления состоит в том, что имеется возможность задания и последовательного прохождения схвата манипулятора вдоль непрерывной, заранее заданной в пространстве траектории.

Работа контурных систем может быть организована, в основном, по двум возможным вариантам:

I вариант. Если имеется запоминающее устройство большого объема, все необходимые траектории можно записать полностью (в режиме обучения), а затем воспроизвести их, не прибегая к сложным вычислениям.

II вариант. Если имеется мощное вычислительное устройство, но с небольшим объемом памяти, можно записать лишь положения некоторого числа опорных точек, а непрерывные участки между ними вычислять (интерполировать и аппроксимировать) с помощью специальных алгоритмов.

II вариант контурного управления имеет место в системе управления промышленным роботом PUMA-560. Система управления ПР PUMA-560 может работать в позиционном режиме (как рассматривалось ранее) и в контурном режиме, с которым мы познакомимся более подробно.

На рис. 1.12 представлена возможная реализация системы контурного управления 1-го звена манипулятора, которая состоит из:

центральной вычислительной машины 1, включающей блок формирования опорных точек 2, блок планирования траектории 3, блок преобразования координат 4;

сервоуправления 5, состоящего из блока аппроксимирующих функций 6, блока дифференцирования 7, блока формирования управляющего ускорения 8, блока формирования движущего момента $M_{дв}$ 9. Усилитель мощности 10 электрически соединен с приводным электродвигателем 11, имеющим датчик положения 12 и датчик скорости 13 i-го звена манипулятора 14.

Система контурного управления работает следующим образом.

Пользователь заносит с помощью видеотерминала или пульта ручного управления в центральную вычислительную машину 1 координаты опорных точек D_i в неподвижной системе координат WORLD. Пользователь также может задать уровень скорости на участках между опорными

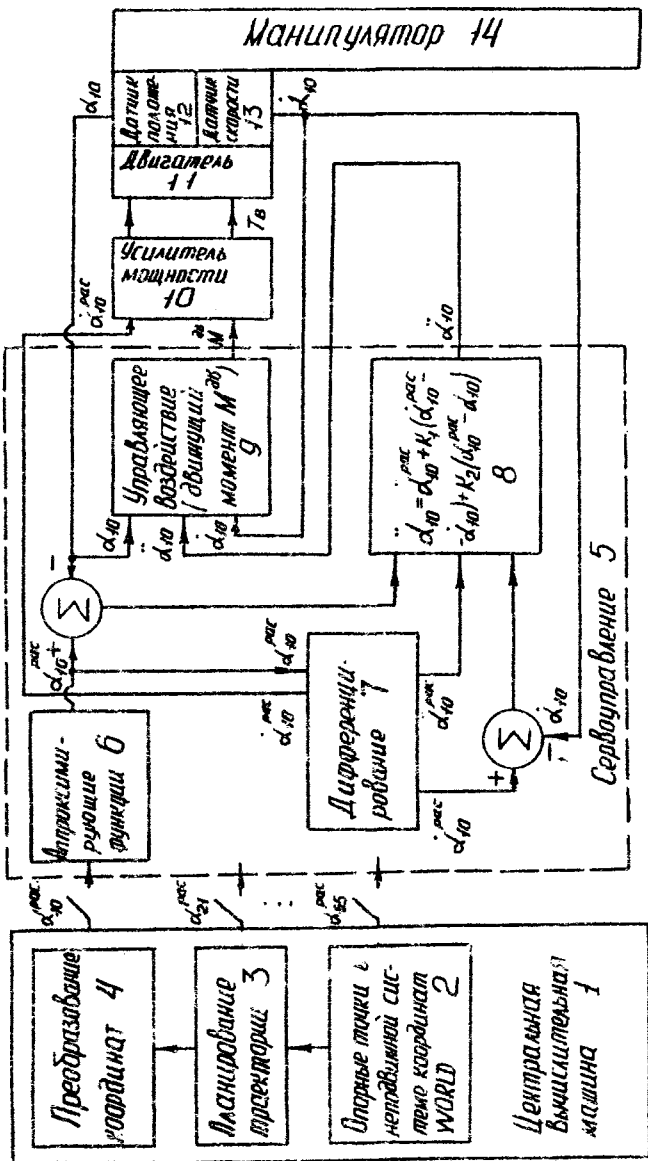


Рис. 1.12. Блок-схема системы контурного управления

точками и вид кривой, вдоль которой будет двигаться схват манипулятора между опорными точками. Система контурного управления ПР РУМА-560 предусматривает задание траектории между опорными точками только в виде прямой линии. Затем центральная вычислительная машина осуществляет планирование траектории. Процесс планирования траектории поясняется на рис. 1.13.

На рис.1.13 представлены три опорные точки D_{i-1} , D_i , D_{i+1} и ряд промежуточных точек $D_{i,1}$, $D_{i,2}$, $D_{i,3}$, $D_{i,4}$, которые разбивают траекторию между опорными точками D_i и D_{i+1} на секции.

Координаты промежуточных точек вычисляются центральной вычислительной машиной из уравнения прямой линии, проходящей через две соседние опорные точки (например, D_i и D_{i+1}). Причем количество промежуточных точек определяется из условия, что схват манипулятора преодолеет расстояние между двумя соседними промежуточными точками за время $T_a = 30$ мс.

Следующим этапом работы центральной вычислительной машины является преобразование координат и всех опорных и промежуточных точек из неподвижной системы координат WORLD в обобщенные координаты приводных электродвигателей α_{10} расч., α_{21} расч., ..., α_{65} расч.

Затем центральная вычислительная машина выдает значения управляющих переменных в виде напряжения, прямо пропорционального α_{10} расч., α_{21} расч., ..., α_{65} расч., через интервалы времени $T_a = 30$ мс на устройства сервоуправления Б каждого приводного электродвигателя.

Устройства сервоуправления при помощи аппроксимирующих функций Б определяют уравнения, описывающие законы изменения обобщенных координат α_{10} расч., α_{21} расч., ..., α_{65} расч. приводных двигателей манипулятора.

Блок дифференцирования 7 позволяет получить законы изменения расчетных обобщенных скоростей $\dot{\alpha}_{10}$ расч., $\dot{\alpha}_{21}$ расч., ..., $\dot{\alpha}_{65}$ расч. и обобщенных ускорений $\ddot{\alpha}_{10}$ расч., $\ddot{\alpha}_{21}$ расч., ..., $\ddot{\alpha}_{65}$ расч. приводных двигателей манипулятора.

Блок 8 формирует управляющие ускорения $\ddot{\alpha}_{10}$, $\ddot{\alpha}_{21}$, ..., $\ddot{\alpha}_{65}$, которые учитывают не только расчетные ускорения $\ddot{\alpha}_{10}$ расч., $\ddot{\alpha}_{21}$ расч., ...

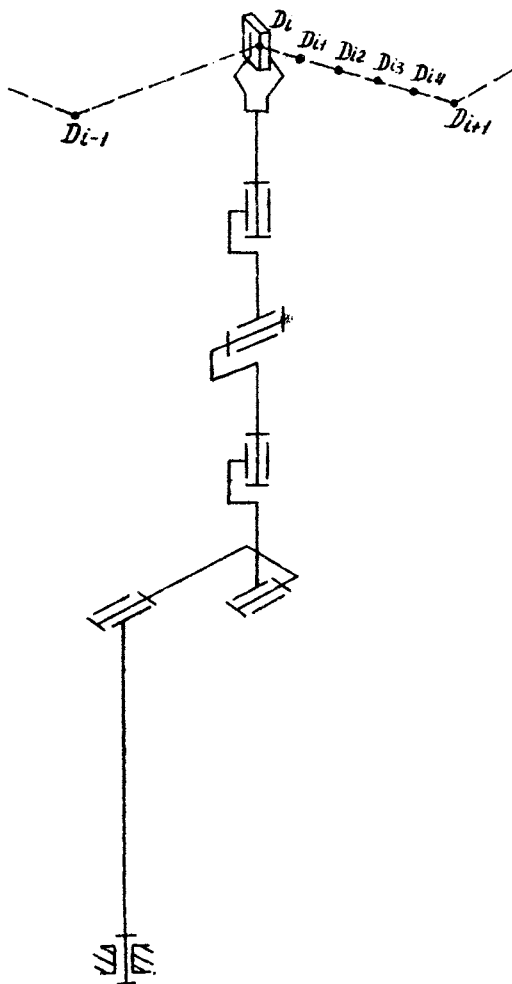


Рис. I.13. Схема процесса планирования траектории движения схвата манипулятора

$\alpha_{65}^{\text{расч.}}$, но и разности расчетных и действующих обобщенных скоростей и обобщенных координат. Блок 9 формирует движущий момент $M_{\text{ДВ}}$, который вместе с расчетными обобщенными скоростями $\alpha_{10}^{\text{расч.}}$, $\alpha_{21}^{\text{расч.}}$, ..., $\alpha_{65}^{\text{расч.}}$ через усилители мощности 10 поступает на соответствующие приводные двигатели 11.

Датчики положения 12 и скорости 13 делают систему контурного управления двигателями 11 замкнутой путем введения обратных связей по обобщенным координатам α_{10} , α_{21} , ..., α_{65} и обобщенным скоростям $\dot{\alpha}_{10}$, $\dot{\alpha}_{21}$, ..., $\dot{\alpha}_{65}$, причем управляющие воздействия на приводные электродвигатели II поступают с интервалом $T_{\text{В}} = 10$ мс.

Применение промышленных роботов с системами контурного управления в современной промышленности приобретает все большее значение, т.к. только эти системы управления могут осуществить движения схвата манипулятора вдоль различных самых сложных пространственных траекторий. Однако внутреннее строение таких систем управления довольно сложно и должно обязательно иметь двухуровневую структуру. В качестве верхнего уровня выступает, как правило, центральная вычислительная машина, которая руководит и синхронизирует работу системы управления нижнего уровня - блоков сервоуправления. Причем при неисправности одного из блоков сервоуправления центральная вычислительная машина может взять на себя его функции, и система управления в общем будет продолжать работу, хотя и с несколько сниженными качественными показателями.

1.3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с классификацией систем управления по уровню программного обеспечения.
2. Изучить особенности цикловой системы управления.
3. Изучить два варианта позиционной системы управления и особенности работы системы управления ПР РУМА-560 в позиционном режиме.
4. Изучить особенности контурной системы управления на примере ПР РУМА-560.

1.4. Содержание отчета

1. Отличительная особенность, достоинства и недостатки программного и адаптивного управления.

2. Отличительная особенность и примеры реализации цикловой системы управления.

3. Особенность и пример реализации упрощенной позиционной системы управления (вариант I).

4.* Особенность и пример реализации позиционной системы управления с расчетом динамики манипулятора и синхронизацией движения звеньев по ведущему звену.

5.* Особенность и пример реализации контурной системы управления.

* Пункты обязательны только для бакалавров и магистров.

I.5. Контрольные вопросы

1. Назвать достоинства и недостатки программного адаптивного управления.

2. Объяснить принцип работы устройства циклового программного управления.

3. Объяснить принцип работы упрощенной позиционной системы управления.

4. Объяснить принцип работы позиционной системы управления с расчетом динамики манипулятора и синхронизацией движения звеньев по ведущему звену.

5. Объяснить принцип работы контурной системы управления.

Л и т е р а т у р а

1. Справочник по промышленной робототехнике. В 2-х кн. /Под ред. Ш.Нофа; Пер. с англ. Д.Ф.Миронова и др. -М.:Машиностроение, 1989. -480 с.

2. Промышленные роботы в действии / Г.И.Хутский, А.М.Титов, Д.А.Святыцкий, М.М.Шукин. -Мн.: Высш.шк., 1986. - 192 с.

3. Михайлов О.П., Стоколов В.Б. Электрические аппараты и средства автоматизации. - М.: Машиностроение, 1982.

4. Система управления ПР PUMA-560. Руководство по эксплуатации.

5. Journal "The Industrial Robot". Volume 17. - 1990. - № I.

2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА ПР PUMA-560. ЯЗЫК ARPS

Цель работы:

1. Изучить устройство и основные технические характеристики системы управления ПР PUMA-560.
2. Освоить режим ручного управления манипулятором от пульта ручного управления (ПРУ) с занесением координат выбранных точек в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) в режиме обучения.
3. Освоить управление манипулятором в мониторном режиме. Некоторые мониторные директивы языка ARPS (Advanced Robot Programming System - Усовершенствованная система программирования робота).
4. Освоить автоматическое управление манипулятором при помощи редактора EDIT языка ARPS.

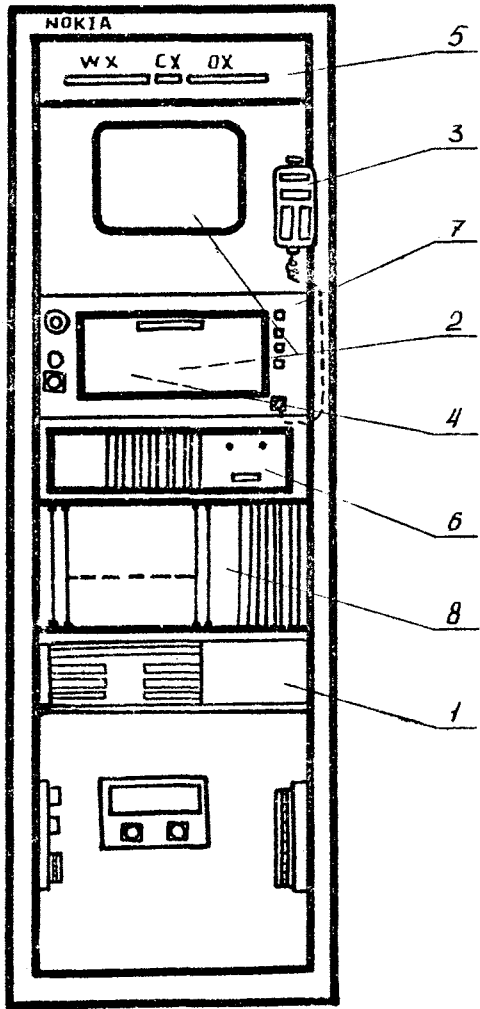
✓ 2.1. Система управления ПР PUMA - 560

Структурная схема представлена на рис. 1.7.

Основные технические характеристики системы управления ПР PUMA - 560:

| | |
|---|---|
| ✓ Принцип работы системы | - двухуровневое микропроцессорное управление. |
| Язык программирования | - ARPS (Advanced Robot Programming System - Усовершенствованная система программирования робота). |
| Объем программируемой памяти | - 28 К байт |
| Время хранения информации при отключении электропитания | - 500 часов |
| Емкость магнитного диска | - 67,6 К байт |
| Питание | - 220 В, 50 Гц, однофазная сеть, максимальная мощность 1,5 кВА |
| Габариты стойки СУ | - 600 × 600 × 1850 мм |
| Масса, кг | - 130 |

Размещение основных блоков системы управления ПР PUMA - 560 в стойке СУ представлено на рис. 2.1



√ Рис. 2.1. Основные блоки системы управления

Функциональное назначение основных блоков системы управления ПР PUMA - 560:

1. Центральная вычислительная машина.

Это-основной блок системы управления. Он предназначен для расчета пути движения звеньев манипулятора и связи с внешним оборудованием и предметами посредством периферийных устройств.

Основные части центральной вычислительной машины:

центральный процессор (длина слова - 16 бит);

последовательные интерфейсы для периферийных устройств;

параллельные интерфейсные платы для взаимосвязи серводвигателей и плат вход/выход;

EPROM - память (ПЗУ - постоянное запоминающее устройство), в которую заносится ARPS-программа. Данные сохраняются в EPROM - памяти, если питание отключено. RAM-память (ОЗУ - оперативное запоминающее устройство) используется для записи программ пользования. Память питается от батареи. Программы будут оставаться в памяти даже при повреждении питания.

2. Дисплей и клавиатура.

Дисплей и клавиатура позволяют пользователю взаимодействовать с роботом посредством команд и инструкции на языке ARPS.

3. Ручное управление.

Пульт ручного управления используется для обучения робота программируемым точкам позиционирования и определения положения схвата манипулятора в различных точках рабочей зоны.

4. Накопитель на гибких магнитных дисках (блок PIOPPU-диск).

Программы пользования могут быть записаны в память диска из RAM-памяти центральной вычислительной машины и после загрузки обратно в RAM-память центральной вычислительной машины.

5. Входной и выходной интерфейсы.

Входные и выходные интерфейсы предназначены для информационной связи ПР PUMA - 560 с различным оборудованием и приборами производственной линии, например, конвейерами, станками, сварочными установками и т.д.

Система управления имеет:

- 16 основных входов W X 1 ... W X 16;
- 16 основных выходов O X 1 ... O X 16;
- 16 дополнительных входов W X 17 ... W X 32;
- 16 дополнительных выходов O X 17 ... O X 32;
- 8 линий дистанционного управления C X 1 ... C X 8.

Входные и выходные интерфейсы посредством кабелей, проложенных внутри стойки, соединяются с терминальным блоком А2, расположенным в нижней части стойки системы управления, и с блоком ввода / вывода А1, расположенным в верхней части стойки системы управления.

Устройство ввода/вывода А1 на передней панели имеет сигнальные лампы, по которым можно постоянно следить за состоянием каждой линии.

Пример:

C X 1 - сообщает о том, что произведен "АВТОСТАРТ" - автоматическая подготовка робота к работе.

C X 5 - сообщает о том, что включено электропитание руки (ARM POWER ON).

Терминальный блок А 2 имеет разъемы, через которые посредством соединительных проводов может быть налажена информационная связь с различными приборами и оборудованием производственной линии.

6. Блок усилителя мощности.

Блок содержит усилители мощности для управления приводными серводвигателями сочленений манипулятора и блок питания, который вырабатывает напряжение, необходимое для питания сервосистемы.

7. Рабочий блок.

Панель управления рабочего блока показана на рис. 2.2.

В нее входят:

- 1) Кнопка экстренного отключения электропитания системы.
- 2) Световой индикатор включения сетевого электропитания.
- 3) Замок для включения (1) и отключения (0) сетевого электропитания.
- 4) Кнопка включения режима "АВТОСТАРТ".
- 5) Кнопка включения питания манипулятора (1).

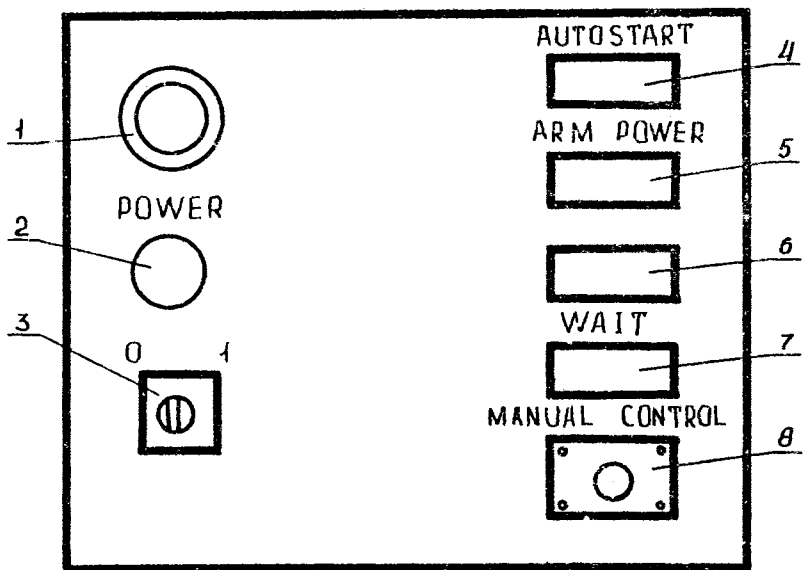


Рис. 2.2. Рабочий блок

- 6) Кнопка отключения питания манипулятора (0).
- 7) Кнопка задания режима "WAIT" ("ОЖИДАНИЕ") манипулятора.
- 8) Разъем для подключения пульта ручного управления.

Панель управления позволяет включить/выключить подвод сетевого электропитания, блок питания манипулятора, осуществить автоматическую AUTOSTART -подготовку к работе СУ ПР PUMA - 560 или перевести ПР в режим ожидания "WAIT".

8. Блок сервоуправления.

В блок сервоуправления входит сервоинтерфейс, которому подчиняются 6 сервоконтроллеров, каждый из которых через усилители мощности руководит работой 6-ти приводных серводвигателей. При помощи фотоэлектрических датчиков и дискретных кодирующих устройств между сервоконтроллерами и серводвигателями налажена обратная связь по положению, скорости и току. Таким образом, имеется замкнутая система управления между сервоблоком и серводвигателями. Сигналы обратной связи от серводвигателей на сервоконтроллеры поступают с высокой частотой множество раз в секунду.

Такое же количество раз в секунду происходит и коррекция работы серводвигателей, т.е. устранение расхождения между программным и реальным их движением. Используемый метод сервоуправления позволяет достичь определенной плавности движения звеньев манипулятора.

2.1.1. Подготовка системы управления ПР PUMA - 560 к работе

Все операции, связанные с подготовкой СУ ПР PUMA - 560 к работе, могут быть выполнены на панели управления рабочего блока, изображенной на рис. 2.2.

1. Включение сетевого электропитания.

В и м а н и е ! Перед включением электропитания системы управления необходимо убедиться, что в пределах рабочей зоны манипулятора нет посторонних предметов или людей .

Повернуть ключ 3 панели управления в положение "1".

При этом загорается световой индикатор 2, расположенный над ключом, и включаются внутренние вентиляторы системы управления. На экране дисплея через 25-30 секунд появится надпись: **NOKIA Advanced Robot Programming System B00.560FA1 Zero memory (y,n) or AUTOSTART.**

Если вы хотите внести изменения в RAM-память, то на клавиатуре

дисплея вы набираете "Y" или "N", если нет, то на панели управления рабочего блока нажимаете кнопку "AUTOSTART".

Команда: "Y" (RETURN) - полностью стирает RAM-память системы управления.

Команда: "N" (RETURN) - сохраняет RAM-память СУ.

2. Режим AUTOSTART.

Запуск программы AUTOSTART - автоматической подготовки СУ к работе. На панели управления рабочего блока нажать кнопку 4 "AUTOSTART". При этом на экране дисплея появится сообщение: **GET ARM POWER** ("Включить питание руки").

На панели управления рабочего блока нажать кнопку 5 (ARM POWER). При этом включается питание руки манипулятора и начинается режим калибровки. Калибровка - это медленное перемещение звеньев манипулятора, в результате которого система управления по сигналам обратной связи от потенциометров, установленных на приводных серводвигателях, определяет пространственное положение звеньев друг относительно друга и определяет, в какой точке рабочей зоны расположен схват.

По окончании калибровки манипулятора на экран дисплея выводится сообщение: **> CAL OK > COM START NO prog. steps**.

После этого система управления готова к приему команд, подаваемых с клавиатуры.

2.1.2. Описание основных команд управления (мониторные команды)

1. **> PD (RETURN)** - вызов на экран дисплея списка программ, хранящихся в RAM-памяти.
2. **> PL имя программы (RETURN)** - вызов на экран дисплея текста программы.
3. **> RUN имя программы, количество циклов (RETURN)** - запуск программы.

Примечание. При наборе отрицательного количества циклов, например, - 1, выполнение программы повторяется бесконечно.

4. **> A (RETURN)** - остановка выполнения программы.
5. **> COM (RETURN)** - продолжение выполнения прерванной программы.
6. **a/ >LL (RETURN)** - вывод на экран дисплея всех точек, хранящихся в RAM-памяти.

б/ > LL название точки (RETURN) - вывод на экран дисплея координат указанных точек.

П р и м е ч а н и е. При наборе на клавиатуре названий нескольких точек их необходимо отделять друг от друга запятой.

2.1.3. Выключение системы управления ПР PUMA - 560

Выключение системы управления производится в обратном порядке.

1. Нажмите кнопку 6 панели управления (рис. 2.2), при этом произойдет отключение питания руки.

2. Поверните ключ 3 панели управления в положение 0, при этом произойдет отключение сетевого электропитания от стойки системы управления.

2.2. Освоение навыков программирования и управления манипулятором ПР PUMA - 560

2.2.1. Режим ручного управления манипулятором от ПРУ

Пульт ручного управления необходим для перемещения схвата манипулятора в выбранные пользователем точки с последующим занесением координат выбранных точек в ОЗУ.

Общий вид ПРУ и функциональное назначение клавиш на нем представлены на рис. 2.3.

Пульт ручного управления работает в 5-ти различных режимах, каждый из которых индицируется сигнальной лампочкой!

1. **COMP** - машинное управление. Нажатие кнопки N 1 на ПРУ передает полностью управление роботом компьютеру.
2. **WORLD** - ручное управление в основной системе координат. Нажатие кнопки N 2 переводит управление манипулятором в основную неподвижную систему координат, представленную на рис. 2.4, причем кнопки управления N3 принимают следующее значение!



- перемещение вдоль ОХ системы координат

(" + " - в положительном направлении оси;
" - " - в обратном направлении);

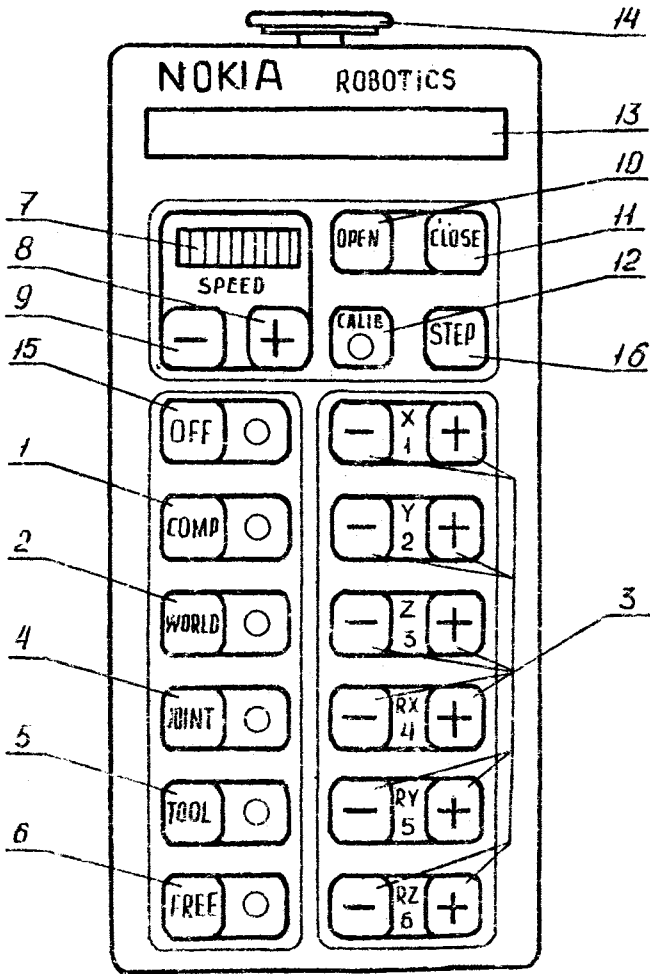


Рис. 2.3. Пульт ручного управления (ПРУ)

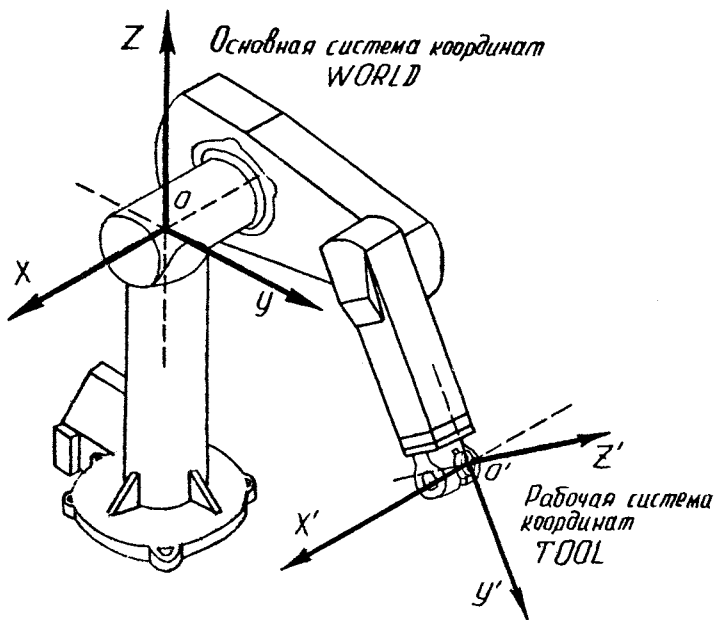


Рис. 2.4. Системы координат ПРИМА-560

| | | |
|---|--------|---|
| - | Y 2 | + |
|---|--------|---|

 - перемещение вдоль оси OY;

| | | |
|---|--------|---|
| - | Z 3 | + |
|---|--------|---|

 - перемещение вдоль оси;

| | | |
|---|---------|---|
| - | RX 4 | + |
|---|---------|---|

 - поворот вокруг оси OX
(если смотреть с конца вектора OX:
" + " - поворот против часовой стрелки;
" - " - по часовой стрелке);

| | | |
|---|---------|---|
| - | RY 5 | + |
|---|---------|---|

 - поворот вокруг оси OY - " - ;

| | | |
|---|---------|---|
| - | RZ 6 | + |
|---|---------|---|

 - поворот вокруг оси OX - " - .

3. JOINT - ручное управление раздельно приводами манипулятора. Нажатие кнопки N 4 переводит управление манипулятором в режим раздельного управления приводами, причем кнопки управления N 3 принимают следующее значение:

| | | |
|---|--------|---|
| - | X 1 | + |
|---|--------|---|

 - управление 1- м приводным двигателем - поворот колонны;

| | | |
|---|--------|---|
| - | Y 2 | + |
|---|--------|---|

 - управление 2- м двигателем - наклон нижнего звена манипулятора;

| | | |
|---|--------|---|
| - | Z 3 | + |
|---|--------|---|

 - управление 3- м двигателем - наклон верхнего звена манипулятора;

| | | |
|---|---------|---|
| - | RX 4 | + |
|---|---------|---|

| | | |
|---|---------|---|
| - | RY 5 | + |
|---|---------|---|

| | | |
|---|---------|---|
| - | RZ 6 | + |
|---|---------|---|

 управление 4- м, 5- м и 6- м двигателями - вращение запястья.

4. TOOL - ручное управление в системе координат инструмента. Нажатие кнопки N 5 переводит управление манипулятором в подвижную систему координат инструмента, связанную с запястьем и представленную на рис. 2.4. Пространственное расположение системы координат TOOL (X' Y' Z') относительно

WORLD (X Y Z) задается координатами радиус-вектора \vec{R} начала системы координат TOOL и углами $\angle O$, $\angle A$, $\angle T$, представленными на рис. 2.5, где $\angle O$ - угол между осью OX основной системы координат и проекцией оси O'Z' системы TOOL на плоскость X Y Z основной системы координат; $\angle A$ - угол между осью OZ' основной системы координат и осью O'Z' системы координат инструмента; $\angle T$ - угол между осью O'Y' системы координат инструмента и прямой, проходящей через точку O и параллельной линии пересечения плоскостей X Y Z основной системы координат и X'Y'Z' системы координат инструмента, причем кнопки управления N 3 принимают следующее значение:

| | | |
|---|---|---|
| - | X | + |
| | 1 | |

 - перемещение вдоль оси O'X' системы координат TOOL
 (" + " - в положительном направлении оси;
 " - " - в обратном направлении);

| | | |
|---|---|---|
| - | Y | + |
| | 2 | |

 - перемещение вдоль оси O'Y';

| | | |
|---|---|---|
| - | Z | + |
| | 3 | |

 - перемещение вдоль оси O'Z';

| | | |
|---|----|---|
| - | RX | + |
| | 4 | |

 - поворот вокруг оси O'X'
 (с конца вектора O'X':
 " + " - поворот против часовой стрелки;
 " - " - по часовой стрелке);

| | | |
|---|----|---|
| - | RY | + |
| | 5 | |

 - поворот вокруг оси O'Y';

| | | |
|---|----|---|
| - | RZ | + |
| | 6 | |

 - поворот вокруг оси O'Z'.

5. FREE - выключение управления суставами. Нажатие кнопки N 6 выключает управление суставами манипулятора от ЭВМ.

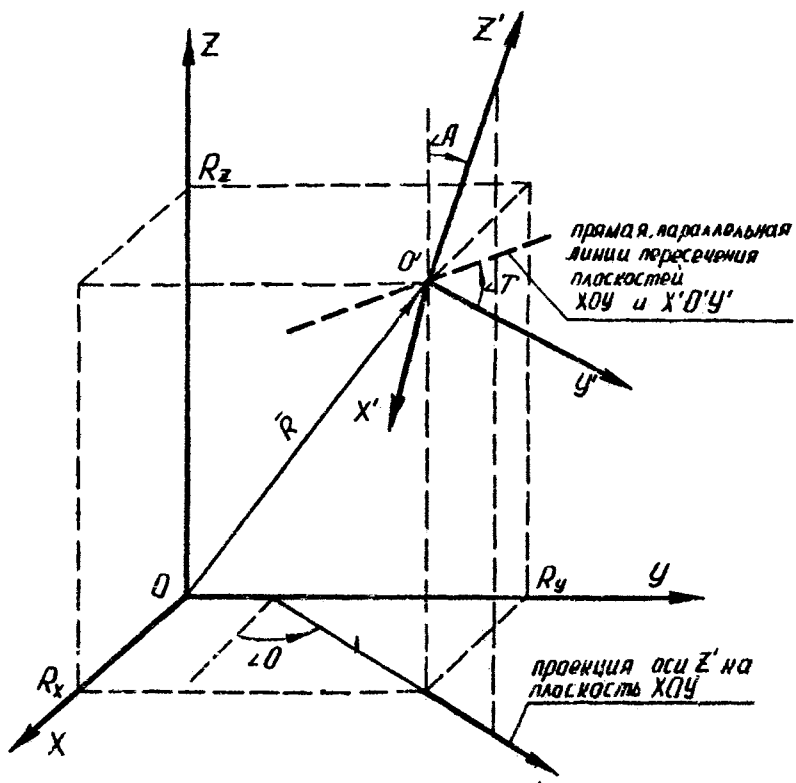


Рис. 2.5. Углы поворота $\angle O$, $\angle A$, $\angle T$ и радиус-вектор \vec{R} , определяющие положение системы координат инструмента TOOL (X'Y'Z') относительно основной системы координат WORLD (XYZ)

В н и м а н и е !

Перед выключением управления любым суставом подвижные звенья должны быть поддержаны, в противном случае они могут упасть под действием силы тяжести. При последующем нажатии кнопок N3 " + " происходит отключение электромагнитного тормоза соответствующего сустава, и пользователь может вращать сустав вручную. При нажатии одной из кнопок N3 " - " происходит включение электромагнитного тормоза соответствующего сустава.

Перед тем, как приступить к управлению манипулятором от ПРУ, на табло скорости N7 при помощи кнопок N 8 и N 9 необходимо установить необходимую скорость.

Табло скорости N 7 имеет 8 индикаторных ячеек. Если:

| | |
|------------------------------------|--------------|
| горит только 1-ая ячейка, скорость | - 1,9 мм/с |
| горят 1 и 2-ая ячейки, | - 3,8 мм/с |
| горят 1, 2, 3-я, | - 7,5 мм/с |
| горят 1, 2, 3, 4-ая, | - 15,0 мм/с |
| горят 1, 2, 3, 4, 5-ая, | - 30,0 мм/с |
| горят 1, 2, 3, 4, 5, 6-ая, | - 60,0 мм/с |
| горят 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7-ая, | - 120,0 мм/с |
| горят 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8-ая, | - 240,0 мм/с |

При однократном нажатии кнопки N 8 происходит уменьшение скорости на 1 шаг.

При однократном нажатии кнопки N 9 происходит увеличение скорости на 1 шаг.

Кнопка N 10 производит открытие захвата-OPEN.

Кнопка N 12 производит закрытие захвата-CLOSE.

Сигнальный индикатор калибровки - CALIB N 12. Эта лампочка всегда горит, когда калибровка руки не произведена.

На панель N 13 выводится информация о состоянии робота в ситуации "сбой". Все сообщения, выводимые на панель, имеют следующее значение:

NO KIA AOK - появляется в момент запуска системы управления;

NO CONTROL - видно до тех пор, пока не начнется инициализация управления от ЭВМ;

ARM PWR OFF - не включено электропитание сервомоторов манипулятора;

MANUAL MODE - манипулятор может управляться вручную с помощью кнопок ручного управления;

- COMP MODE** - манипулятор управляется от ЭВМ. Управление манипулятором от пульта ручного управления запрещено, за исключением кнопок N 14 и N 15, производящих моментальный останов манипулятора;
- LIMIT STOP X** - стык X находится в крайнем положении;
- TOO CLOSE** - местоположение схвата манипулятора задано слишком близко к роботу и не может быть осуществлено;
- TOO FAR** - местоположение схвата манипулятора задано за пределами рабочей зоны;
- TEACH MODE** - схват манипулятора движется от точки к точке по такому пути, который обеспечивает минимальное суммарное значение углов поворота приводных двигателей;
- STEACH MODE** - схват манипулятора движется от точки к точке по прямой линии;
- PROGRAM RUN** - выполняется программа;
- WAIT** - выполнение программы прервано при помощи кнопки WAIT рабочего блока;
- ERROR** - в одно и то же время нажаты такие кнопки на блоке ручного управления, которые вместе создают невыполнимую комбинацию;
- FATAL ERROR** - технический сбой в системе управления.

Кнопки N 14 и N 15 предназначены для мягкого моментального останова выполнения программы манипулятором. Электропитание руки этой кнопкой не выключается.

Кнопка N 16 STEP предназначена для занесения информации о местоположении схвата манипулятора в ОЗУ.

Виды точек, заносимых в ОЗУ системы управления манипулятором: точки бывают координатные, абсолютные; комбинированные.

1). Координатные точки - это точки, информация о которых представлена в ОЗУ в виде координат X Y Z фланца схвата манипулятора и углов α , β , γ его ориентации в пространстве.

Имя координатной точки состоит из произвольного набора букв и цифр в сумме до 10 символов и всегда начинается с буквы.

Пример: A1C326K.

2). Абсолютные точки - это точки, информация о которых представлена в ОЗУ в виде углов сочленений манипулятора J1, J2, J3, J4, J5, J6.

Имя абсолютной точки может также иметь до 10 символов, но перед именем ставится знак " # " .

Пр и м е р: # A1C32
B5RG15 .

3). Комбинированные точки - это точки, координаты которых определены относительно базовой точки. Смещение базовой точки в пространстве на какую-либо величину приводит к параллельному переносу комбинированных точек на ту же величину в том же направлении.

Имя комбинированной точки состоит из двух частей:

- 1) имени базовой точки (вне скобок);
- 2) собственного имени комбинированной точки (в скобках).

Пр и м е р: A1(M2) - полное имя комбинированной точки,
где A1 - имя базовой точки;
M2 - имя точки, обученной относительно базовой.

Занесение координат выбранных точек в ОЗУ в режиме обучения при помощи мониторинг директивы

1. На ПРУ нажать кнопку N 1 - COMP (рис. 2.3).
2. На дисплее набрать директиву: > LT точка (RETURN) ,
где точка - имя координатной, комбинированной или абсолютной точки.
3. От пульта ручного управления перейти в режим JOINT, нажав соответствующую кнопку N 4 (рис. 2.3).
4. При помощи кнопок управления N 3 вывести манипулятор в нужную точку и на ПРУ нажать кнопку N 16 STEP. Данную операцию повторить столько раз, сколько точек необходимо занести в ОЗУ.
5. Заканчивается режим обучения нажатием на ПРУ кнопки N 1 - COMP и затем на клавиатуре дисплея-нажатием клавиши RETURN .

Пр и м е р ы:

- а). > LT A1 - определяет в ОЗУ робота последовательные координатные точки A1, A2, A3 и т. д.
- б). > LT # B - определяет в ОЗУ робота последовательные абсолютные точки B0, B1, B2 и т. д.
- в). > LT A (X2) - определяет последовательные комбинированные точки X2, X3, X4 и т. д.

Примечание. Если в директиве задается комбинированная точка, то неопределенной может быть только внутренняя точка (например: X(AI) - AI - неопределенная, значение точки X определено заранее).

2.2.2. Управление манипулятором в мониторном режиме

I. Мониторные директивы.

Мониторные директивы - это команды, набираемые пользователем на клавиатуре дисплея и выполняемые сразу же после нажатия клавиши RETURN.

1). > HERE точка, сокращенно: > HE точка, где "точка" - имя координатной, комбинированной или абсолютной точки.

С помощью директивы HERE в ОЗУ робота записывается значение точки, равное текущему положению фланца схвата манипулятора.

Пример: > HERE A1.

В ОЗУ робота записалось текущее значение точки фланца схвата в координатах X, Y, Z, < O, < A, < T.

> HERE # B1.

В ОЗУ записалось текущее значение точки в координатах угловых значений шарниров J1, J2, J3, J4, J5, J6.

> HERE PALLET (A).

В ОЗУ записалась разность значений между точкой PALLET и текущей позицией точки фланца схвата манипулятора.

2). > SPEED скорость, сокращенно: > SP скорость, где "скорость" - скорость в мм/с (движение по прямой линии), которая выбирается в пределах 2 ... 500 мм/с.

Пример: > SPEED 300.

Задает скорость движения схвата по прямой = 300 мм/с.

3). > WHERE (#), сокращенно: > WH (#).

Эта директива выводит на дисплей текущее положение точки фланца схвата манипулятора непрерывно. Если директива задается без сим-

вола # , то положение манипулятора отслеживается в координатах X, Y, Z, $\angle O$, $\angle A$, $\angle T$. Если директива задается с символом # , то положение манипулятора отслеживается в угловых значениях шарниров J1, J2, J3, J4, J5, J6. Выполнение этого режима можно прервать нажатием клавиши RETURN .

Пример: > WHERE .

| | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| X | Y | Z | O | A | T |
| 500.0 | 500.12 | 100.10 | 50.000 | 45.000 | 0.000 |

> WHERE (#) .

| | | | | | |
|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| сочл.1 | сочл.2 | сочл.3 | сочл.4 | сочл.5 | сочл.6 |
| 0.000 | 90.000 | -90.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

4). Формат директивы:

> CHANGE (точка), сокращенно: CH (точка), где "точка" - имя координатной, комбинированной или абсолютной точки.

С помощью этой директивы можно изменить значение точек или записать координаты новых точек. После директивы CHANGE на дисплей выводится значение координат точки, и появляется вопрос:

CHANGE location ? (изменить точку ?),

после чего пользователь может задать с клавиатуры новые координаты точки. Если значения каких-либо координат остались прежними, на клавиатуре дисплея набираются лишь разделительные запятые. Если точка-комбинированная, то лишь внутренняя точка может быть новой (например; X(A) - точка X должна быть задана раньше).

Примеры:

а). Координатная точка A1 подвергается изменению следующим образом:

>CHANGE A1 (RETURN) .

| | | | | | | |
|----|-------|------|------|-------|-------|-------|
| A1 | X | Y | Z | O | A | T |
| | 10.00 | 5.00 | 0.00 | 5.000 | 0.000 | 0.000 |

CHANGE location ? : 5, , 5,0 (RETURN) .

| | | | | | | |
|----|------|------|------|-------|-------|-------|
| A1 | X | Y | Z | O | A | T |
| | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

б). Абсолютная точка B1 подвергается изменению следующим образом:

> CHANGE # B1 (RETURN) .

B1 $\frac{\text{сочл. 1}}{0.000}$ $\frac{\text{сочл. 2}}{0.000}$ $\frac{\text{сочл. 3}}{0.000}$ $\frac{\text{сочл. 4}}{0.000}$ $\frac{\text{сочл. 5}}{0.000}$ $\frac{\text{сочл. 6}}{0.000}$.

CHANGE location ? ; , , 10 (RETURN).

B1 $\frac{\text{сочл. 1}}{0.000}$ $\frac{\text{сочл. 2}}{0.000}$ $\frac{\text{сочл. 3}}{0.000}$ $\frac{\text{сочл. 4}}{10.000}$ $\frac{\text{сочл. 5}}{0.000}$ $\frac{\text{сочл. 6}}{0.000}$.

в). Мониторные директивы, рассмотренные ранее:

- > PD;
- > PL (имя программы);
- > RUN (имя программы), (количество-циклов);
- > A;
- > COM;
- > LL;
- > LL (имя точки);
- > LT (имя точки).

2. Программные команды, работающие в мониторинг режиме.

Программные команды, работающие в мониторинг режиме, так же, как и мониторинг директивы, выполняются сразу же после нажатия клавиши RETURN . Отличие состоит в том, что для выполнения программных команд в мониторинг режиме перед именем необходимо ставить точку:

а) >. GO точка ;

>. GOS точка ,

где точка - имя координатной, комбинированной или абсолютной точки.

С помощью этих команд можно переместить манипулятор в заранее определенную и занесенную в ОЗУ робота точку.

По команде GO определяется интерполированная траектория движения в точку по кривой, по команде GOS - прямолинейная траектория.

П р и м е р ы:

>. GO LOC1 -

манипулятор перемещается в точку LOC1 ;

>. GOS LOC1 -

манипулятор перемещается в точку LOC1 по прямолинейной траектории;

>. GOS # B1 -

манипулятор перемещается в абсолютную точку # B1 по прямой линии;

>. GO LOC (X) -

манипулятор перемещается в комбинированную точку.

2.2.3. Автоматическое управление манипулятором при помощи программного редактора EDIT

1. Программный редактор EDIT.

Программный редактор EDIT - это мониторная директива.

Формат директивы:

> EDIT (программа),
сокращенно: > ED (программа),

где "программа" - имя программы, которую пользователь собирается записать в ОЗУ робота или отредактировать. Если имя программы не указано, то по умолчанию происходит вызов на видеотерминал последней программы, с которой работали в режиме редактора.

П р и м е р:

Вы собрались создать файл в виде программы и записать его в ОЗУ робота. Для этого вы набираете на клавиатуре дисплея:

> ED PRG1 (RETURN) .

На экране дисплея появляется сообщение:

Program PRG1

1.

Последовательно вы записываете с помощью клавиатуры дисплея свои программу, не забывая в конце каждой строки нажимать клавишу RETURN .

Последней командой программы всегда является команда END (сокращенно: E).

2. Программные команды.

1). DELAY время,
сокращенно: DEL время,

где "время" - время задержки от 000 до 327,67 с.

С помощью этой команды можно формировать задержки в программе.

П р и м е р:

DELAY . 5 .

В программе создается задержка 0,5 с.

2). Команды GOO точка, GOB точка были описаны ранее.

3). GONEAR точка, расстояние,
GOBNEAR точка, расстояние,

сокращенно: GOM точка, расстояние,
GOMN точка, расстояние,

где "точка" - координатная, комбинированная или абсолютная точки (если точка не задана, то по умолчанию используется текущая позиция инструмента робота); "расстояние" - расстояние, на котором остановится схват манипулятора от желаемой точки. Расстояние измеряется в мм в направлении оси $O'Z'$ системы координат инструмента робота.

С помощью этих команд можно передвинуть манипулятор на заданное расстояние к заданной точке (в направлении оси $O'Z'$ системы координат инструмента робота). Движение по команде GOMEAR происходит по интерполированной кривой, по команде GOMNBAR - по прямолинейной траектории.

Пример:

G0 NBAR # B1, 100,
сокращенно: GOM # B1, 100 .

Манипулятор начнет двигаться к абсолютной точке и остановится от нее на расстоянии 100 мм.

4). G0 READY .

По этой команде манипулятор перемещается в исходное вертикальное положение. Углы сочленений принимают следующее значение:

| | | | | | | |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| # B1 | сочл. 1 | сочл. 2 | сочл. 3 | сочл. 4 | сочл. 5 | сочл. 6 |
| | 0.000 | -90.000 | 90.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

5). MOVE dx, dy, dz ,
MOVES dx, dy, dz ,

где dx - величина перемещения манипулятора по оси OX основной системы координат;

dy - величина перемещения манипулятора по оси OY основной системы координат;

dz - величина перемещения манипулятора по оси OZ основной системы координат.

По команде MOVE схват движется по интерполированной криволинейной траектории, по команде MOVES - по прямолинейной траектории. Причем движение вдоль осей X, Y, Z происходит одновременно, а не по очереди.

Примеры:

MOVE 10,,20 .

Манипулятор передвигается на 10 мм по оси OX и на 20 мм-по оси OZ.

MOVES -100, -100, -100 .

Манипулятор передвигается по прямой на 100 мм по всем осям основной системы координат.

6). MOVE JOINT сустав, угол,
сокращенно: MJ сустав, угол,

где "сустав" - порядковый номер сустава (1 ... 6); "угол" - величина передвижения сустава в градусах.

С помощью этой команды выполняется движение отдельных шарниров.

Пример:

MOVE JOINT 2, 30 .

Шарнир 2 производит поворот нижнего звена на 30° градусов в положительном направлении.

7). OPEN .

По этой команде происходит разжатие схвата манипулятора. Время разжатия схвата ≈ 0,2 с.

8). CLOSE .

По этой команде происходит сжатие схвата манипулятора. Время сжатия схвата ≈ 0,2 с.

9). SHIFT точка = dx, dy, dz ,

сокращенно: SH точка = dx, dy, dz ,

где dx - расстояние (мм), которое прибавляется к координате X точки;
dy - расстояние (мм), которое прибавляется к координате Y точки;
dz - расстояние (мм), которое прибавляется к координате Z точки.

Эта команда используется для перемещения точки в основной системе координат.

Пример:

SHIFT LOC1 = 100,, -200 .

К значению точки X добавляется 100 мм, а из значения Z вычитается 200 мм.

10). SPEED скорость, .

сокращенно: SP скорость,

где "скорость" - скорость движения инструмента манипулятора (движение по прямой, мм/с).

Пример:

SP 300.

Устанавливает скорость движения инструмента манипулятора по прямой линии = 300 мм/с.

II). LOCATE точка 1 = точка 2,

сокращенно: LOC точка 1 = точка 2,

где "точка 1" - координатная или абсолютная точка, чье значение задается в качестве значения точки 2; точка 2 - координатная, комбинированная или абсолютная точки.

По этой команде значение одной точки задается в качестве значения второй точки.

Примеры: LOCATE A1 = A2, или:

а). LOC A1 = A2,

где в качестве величины точки A2 задается точка A1;

б). LOCATE # B1 = # B2,

где в качестве значения абсолютной точки # B2 берется значение абсолютной точки # B1.

3. Команды программного редактора EDIT.

I). PRINT строка,

сокращенно: P строка,

где "строка" - порядковый номер строки, на который пользователь хочет сразу перейти, минуя промежуточные.

Команда работает в режиме редактирования программы и позволяет осуществить безусловный переход к нужной для пользователя строке.

Пример:

5. GO B

5. P 25

25. DEL 1

25.

Фрагмент безусловного перехода к строке
N 25 при редактировании программы.

2). DELETE,

сокращенно: D.

Команда вычеркивает нужную строку.

П р и м е р:

5. 00 В

5. D .

После нажатия клавиши RETURN пятая строка исчезает.

3). Я символ 1 А символ 2,

где "символ 1" - буква или цифра, которую необходимо заменить на другую букву или цифру - "символ 2"

П р и м е р:

5. 00 В

5. ЯQ A O .

После выполнения на экране будет

5. 00 В .

4). ЯА символ 1 А символ 2 .

Заменяется символ 1 на символ 2 во всей программе.

2.3. Описание лабораторного приспособления для моделирования операций загрузки автоматического патрона шпинделя станка и сборки "вал - втулка"

Рассматриваемое лабораторное приспособление изображено на рис.

2.6. Лабораторное приспособление состоит из нижней пластины 1, к которой жестко под углом 90° крепится боковая пластина 2. Строго перпендикулярно относительно поверхности нижней пластины в отверстиях жестко закреплены три нижних цилиндра 3, причем положение каждого цилиндра дано соответствующее обозначение позиций: А, В и С. В исходном положении на нижние цилиндры - позиции А, В и С - насажены полые трубки 4, способные свободно перемещаться вдоль оси симметрии нижних цилиндров. Боковая пластина 2 имеет шесть отверстий 5, обозначенных номерами "1", "2", "3", "4", "5", "6" и просверленных строго перпендикулярно поверхности боковой пластины. Кроме того, перпендикулярно поверхности боковой пластины при помощи резьбы крепятся четыре боковых съемных цилиндра 6, обозначенных номерами "7", "8", "9" и "10".

На рис. 2.7 изображено рассматриваемое лабораторное приспособление и положения трех абсолютных точек # А, # В и # С, являющих-

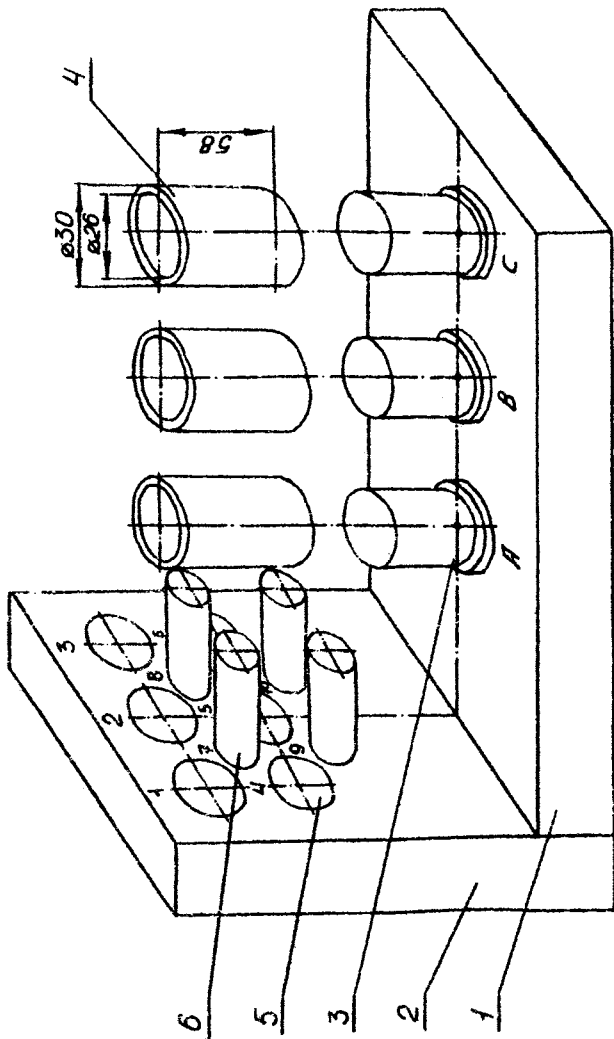


Рис. 2.6. Лабораторное приспособление для моделирования операции загрузки автоматического патрона шпиделя и сборки "вал-втулка"

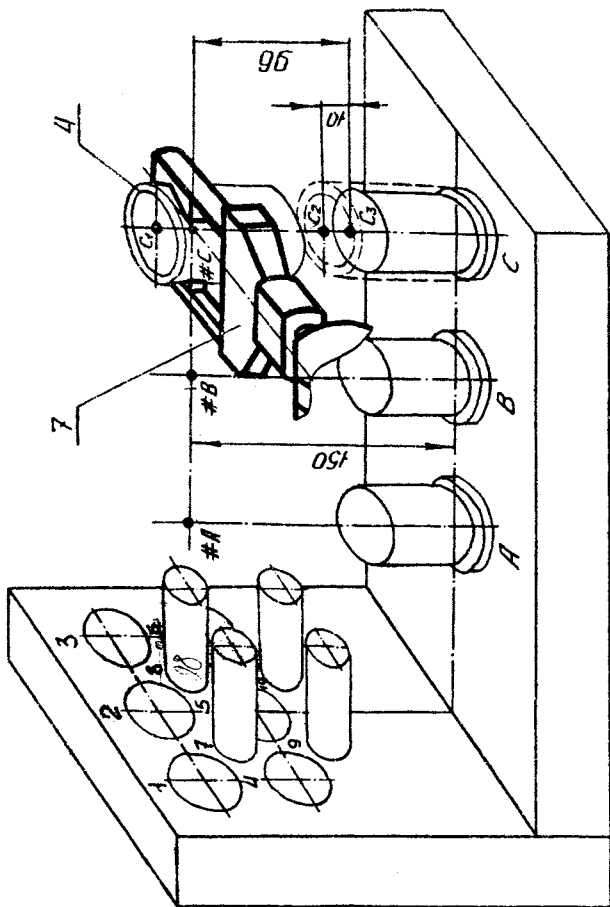


Рис. 2.7. Положение трех абсолютных точек #А, #В, #С пересечения осей симметрии схвата манипулятора и одного из нижних цилиндров

ся пересечением осей симметрии схвата 7 манипулятора и одного из нижних цилиндров 3. Причем координаты абсолютных точек # А, # В и # С занесены в ОЗУ робота.

На рис. 2.7 точка C_1 является точкой пересечения оси симметрии полой трубки 4 и плоскости, в которой лежит верхняя направляющая данной полой трубки. Причем при перемещении полой трубки 4 в крайнее нижнее положение (изображенное штриховой линией) точка C_1 совпадет с точкой C_2 , а точка C_3 будет такой, что длина отрезка $|C_1 \# C|$ будет равна длине отрезка $|C_2 C_3|$.

На рис. 2.8 изображены две проекции лабораторного приспособления с необходимыми размерами.

2.4. Варианты заданий к лабораторным работам

2.4.1. Задание по лабораторной работе № 2.1 "Автоматическая сварка по контуру квадрата"

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Плоскость, в которой расположен квадрат | XOY | XOZ | YOZ | XOY | XOZ | YOZ | XOY | XOZ | YOZ | XOY | XOZ | YOZ | |
| Координаты исходной точки | X | 300 | 300 | 310 | 300 | 310 | 310 | 300 | 300 | 290 | 300 | 290 | 290 |
| | Y | 300 | 310 | 300 | 310 | 310 | 310 | 300 | 290 | 300 | 290 | 290 | 290 |
| | Z | 110 | 100 | 100 | 110 | 100 | 110 | 90 | 100 | 100 | 90 | 100 | 90 |
| Длина стороны квадрата, мм | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | |
| Скорость прохождения схвата вдоль сторон квадрата, мм/с | 100 | 100 | 100 | 200 | 150 | 250 | 150 | 50 | 60 | 100 | 140 | 180 | |
| | 200 | 200 | 300 | 100 | 250 | 150 | 100 | 100 | 70 | 110 | 150 | 190 | |
| | 300 | 250 | 200 | 300 | 100 | 200 | 250 | 200 | 80 | 120 | 160 | 200 | |
| | 250 | 300 | 250 | 250 | 250 | 250 | 200 | 150 | 90 | 130 | 170 | 210 | |

Необходимо вывести схват манипулятора в исходную точку с заданными координатами и в заданной плоскости произвести автоматическую сварку по контуру квадрата с заданной длиной стороны, причем скорость прохождения схвата вдоль сторон квадрата задана и различна.

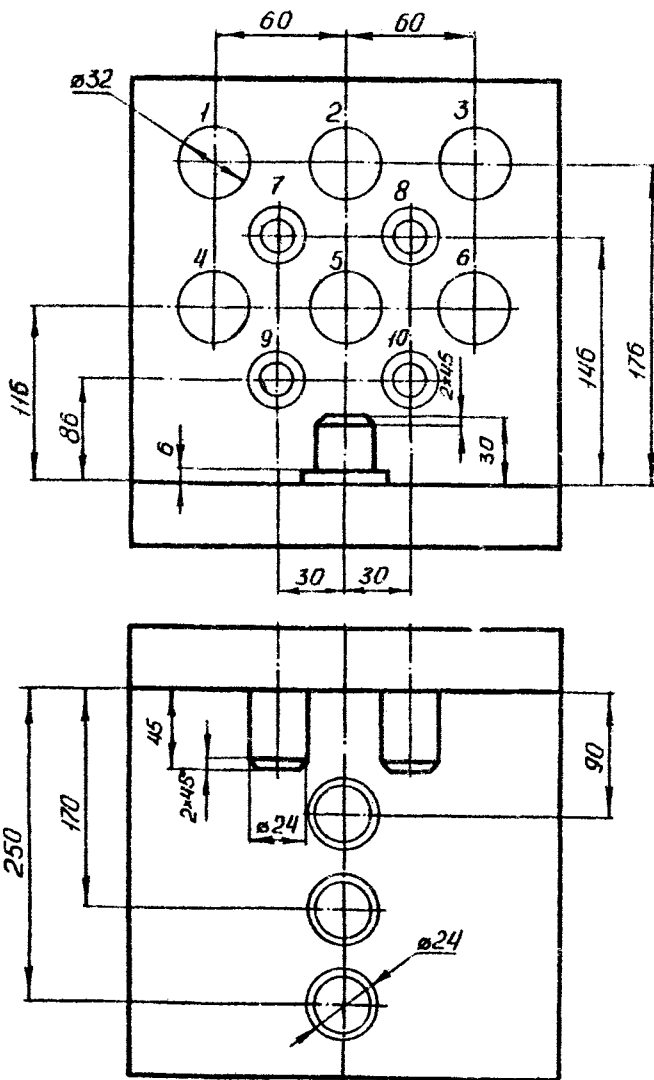


Рис. 2.8. Проекция лабораторного приспособления с необходимыми размерами

Пример составления программы

З а д а н и е :

Необходимо вывести схват манипулятора в точку с координатами 300, 300, 100 (основная система координат) и в плоскости X O Y вычертить квадрат со стороной = 50 мм. Причем движение от точки к точке должно осуществляться с равными скоростями.

В ы п о л н е н и е :

1. При помощи мониторинной директивы WHERE и ППУ (пульта ручного управления) выводим схват в точку с координатами A1 = 300, 300, 100.

2. При помощи мониторинной директивы WHERE заносим координаты точки A1 в ОЗУ робота.

3. При помощи программной команды MOVE dx, dy, dz в мониторинном режиме перемещаем манипулятор вдоль оси OY на 50 мм >.MOVE, 50.

4. При помощи WHERE заносим координаты новой точки A2 = 300, 350, 100 в ОЗУ робота.

5. Перемещаем манипулятор вдоль оси OX на 50 мм >.MOVE, 50.

6. Заносим координаты точки A3 = 350, 350, 100 в ОЗУ.

7. Перемещаем манипулятор вдоль оси OY на -50 мм >.MOVE, -50.

8. Заносим координаты точки A4 = 350, 300, 100 в ОЗУ.

9. Составляем файл программы!

> ED PEG1

- 1) GO READY
- 2) SP ~~100~~
- 3) GO A1
- 4) DEL 1
- 5) GOS A2
- 6) DEL 1
- 7) SP ~~200~~
- 8) GOS A3
- 9) DEL 1
- 10) SP ~~300~~
- 11) GOS A4
- 12) DEL 1
- 13) SP ~~400~~
- 14) GOS A1

- 15) DEL a
- 16) GO READY
- 17) E

10. Запускаем программу на выполнение

> RUN PRC1

2.4.2. Задание по лабораторной работе № 2.2*
"Моделирование процесса сборки вал - втулка"

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Последовательность перемещений | AB | AC | BA | BC | CA | CB | A7 | A8 | A9 |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|
| Вариант | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Последовательность перемещений | A10 | B7 | B8 | B9 | B10 | C7 | C8 | C9 | C10 |

Необходимо при помощи манипулятора осуществить процесс сборки вал - втулка по указанному в соответствии с вариантом маршруту.

Пример составления программы

З а д а н и е :

Необходимо при помощи манипулятора осуществить процесс сборки вал - втулка по маршруту C10.

В ы п о л н е н и е :

I. Рассчитаем величину вертикального перемещения схвата по формуле

$$l = 150 - 58 - 6 + l_1 = 86 + l_1,$$

где l_1 - расстояние от плоскости, в которой лежит верхняя направляющая полой трубки, до точки пересечения осей симметрии схвата манипулятора и полой трубки (втулка зажата в схвате манипулятора);

l - величина перемещения схвата из точки # C в точку C₃.

Примем $l_1 = 10$ мм; тогда $l = 86 + 10 = 96$ (мм).

Величина рассчитанного перемещения схвата показана на рис.2.2.

2. Составляем файл программы:

- > ED PRG 2
- 1) GO READY
- 2) SP 100
- 3) GO # C
- 4) SP 50
- 5) MOVES,, - 98
- 6) CLOSE
- 7) MOVES,, 32
- 8) MOVES, 30
- 9) MOVE JOINT 6, 90
- 10) SP 20
- 11) MOVES - 202
- 12) OPEN
- 13) MOVES 100
- 14) SP 100
- 15) GO READY .

3. Запускаем программу на выполнение.

> RUN PRG 2

*Задание по лабораторной работе обязательно к выполнению только для бакалавров и магистров.

2.4.3. Задание по лабораторной работе N° 2.3^M "Моделирование операций загрузки автоматического патрона шпинделя станка"

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Последовательность перемещений | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | B1 | B2 | B3 |

| Вариант | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Последовательность перемещений | B4 | B5 | B6 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |

Необходимо при помощи манипулятора осуществлять загрузку автоматического патрона шпинделя станка полыми трубками с позиций А, В

или С в соответствии с вариантом задания.

* Задание по лабораторной работе обязательно к выполнению только для бакалавров и магистров.

2.5. Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и основные технические характеристики системы управления ПР PUMA-560.
2. Изучить последовательность подготовки системы управления ПР PUMA-560 к работе.
3. Изучить режим ручного управления манипулятором от пульта ручного управления (ПРУ).
4. Изучить управление манипулятором в мониторинговом режиме.
5. Изучить автоматическое управление манипулятором при помощи редактора EDIT языка ARPS.
6. В соответствии с вариантом задания составить на языке ARPS программу прохождения схвата вдоль различных траекторий.

2.6. Содержание отчета

1. Основные технические характеристики системы управления ПР PUMA-560.
2. Порядок подготовки системы управления ПР PUMA-560 к работе и последовательность ее выключения.
3. Основные мониторинговые директивы.
4. Основные программные команды, работающие в мониторинговом режиме.
5. Программный редактор EDIT и основные программные команды.
6. Основные команды программного редактора EDIT.
7. Текст программы на языке ARPS в соответствии с вариантом задания.

2.7. Контрольные вопросы

1. Назвать основные технические характеристики системы управления ПР PUMA-560.
2. Показать размещение и объяснить функциональное назначение основных блоков системы управления ПР PUMA-560.

3. Какова последовательность подготовки системы управления ПР PUMA-560 к работе, а также порядок выключения системы ?
4. Дать описание основных мониторинговых команд управления.
5. Каковы пять основных режимов работы пульта ручного управления ? Дать краткое описание работы системы управления в каждом из режимов.
6. В каком виде опорные точки пространственной траектории могут быть занесены в ОЗУ системы управления ?
7. Каким образом координаты опорных точек пространственной траектории могут быть занесены в ОЗУ робота ?
8. Какова особенность мониторинговых директив ?
9. Назвать основные мониторинговые директивы и привести примеры работы с ними.
10. Какова особенность программных директив, работающих в мониторинговом режиме ?
11. Назвать основные программные директивы, работавшие в мониторинговом режиме, и привести примеры работы с ними.
12. Какова последовательность создания файлов программы с помощью программного редактора EDIT ?
13. Назвать основные программные команды и привести примеры работы с ними.
14. Назвать основные команды программного редактора EDIT и привести примеры работы с ними.

Л и т е р а т у р а

1. Система управления ARPS ПР PUMA-560. Руководство по эксплуатации.
2. Справочник по промышленной робототехнике в 2-х кн. /Под ред. Ш. Нофа ; Пер. с англ. Д. Ф. Миронова и др.-М.: Машиностроение, 1989. -480 с.

С о д е р ж а н и е

| | |
|--|----|
| I. ОПИСАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ | 3 |
| I.1. Классификация систем управления по уровню программного обеспечения | 3 |
| I.1.1. Программное управление | 3 |
| I.1.2. Адаптивное управление | 4 |
| I.2. Классификация систем управления по типу реали- зуемых по отдельным степеням подвижности мани- пулятора движений | 5 |
| I.2.1. Цикловое управление | 5 |
| I.2.2. Позиционное управление | 9 |
| I.2.3. Контурное управление | 21 |
| I.3. Порядок выполнения работы | 25 |
| I.4. Содержание отчета | 26 |
| I.5. Контрольные вопросы | 26 |
| Л и т е р а т у р а | 26 |
| 2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА ПР-РЦМА-560. ЯЗЫК ARPS | 27 |
| 2.1. Система управления ПР РЦМА-560 | 27 |
| 2.1.1. Подготовка системы управления ПР РЦМА-560 к работе | 32 |
| 2.1.2. Описание основных команд управления (мониторные команды)..... | 33 |
| 2.1.3. Выключение системы управления ПР РЦМА-560 | 34 |
| 2.2. Освоение навыков программирования и управления манипулятором ПР РЦМА-560 | 34 |
| 2.2.1. Режим ручного управления манипулятором от ПРУ | 34 |
| 2.2.2. Управление манипулятором в мониторингном режиме | 43 |
| 2.2.3. Автоматическое управление манипулятором при помощи программного редактора EDIT | 46 |
| 2.3. Описание лабораторного приспособления для моделирования операций загрузки автоматичес- кого патрона шпинделя станка и сборки "вал- штулка" | 50 |
| 2.4. Варианты заданий к лабораторным работам | 53 |
| 2.4.1. Задание по лабораторной работе № 2.1 "Автоматическая сварка по контуру квадрата" | 53 |

| | |
|--|----|
| 2.4.2. Задание по лабораторной работе № 2.2* | |
| "Моделирование процесса сборки "вал- штука" | 56 |
| 2.4.3. Задание по лабораторной работе № 2.3 * | |
| "Моделирование операций загрузки авто- матического патрона шпинделя станка" | 57 |
| 2.5. Порядок выполнения работы | 58 |
| 2.6. Содержание отчета | 58 |
| 2.7. Контрольные вопросы | 58 |
| Л и т е р а т у р а | 59 |

Учебное издание

ФИЛОНОВ Игорь Павлович
КУРЧ Леонид Витальевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Учебное пособие по курсам "Автоматизация
производственных процессов в машиностроении", "Теория
движения манипуляционных механизмов" для студентов
специальностей I2.01 - "Технология машиностроения",
I2.02 - "Металлорежущие станки и инструменты", 2I.06 -
"Робототехнические системы и комплексы", 2I.03 -
"Автоматизация технологических процессов"

В 3-х частях

Часть 2

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ
РОБОТОВ, ЯЗЫК ПРОГРАММИРОВАНИЯ ARPS

Редактор Т.А. Палилова. Корректор М.П. Антонова

Подписано в печать 17.09.93.

Формат 60x84¹/₁₆, Бумага тип. № 2. Офсет. печать.

Усл. печ. л. 3,7. Уч.-изд. л. 2,9. Тир. 300. Зак. 901.

Белорусская государственная политехническая академия
Отпечатано на ротапринте БГПА. 220027, Минск, пр. Ф.Скоринны, 65.