

конфигурации, например, для перемещения в изогнутых трубопроводах и т.п. На рис.3.7.в показан еще один вариант такого типа кинематической схемы, работающей в одной плоскости.

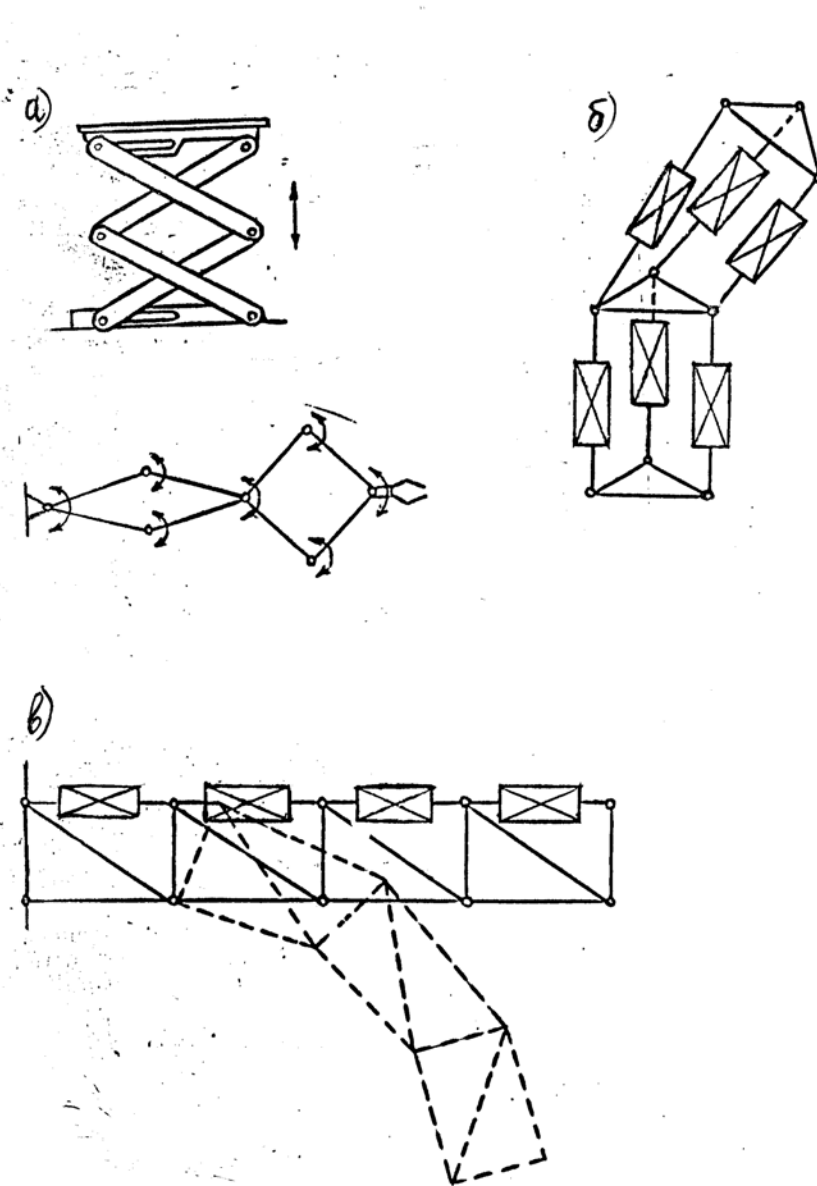


Рис.3.7. Варианты параллельных кинематических схем.

Конструкция манипуляторов определяется прежде всего их кинематической схемой. Кроме того, существенное значение имеют тип и размещение приводов и механизмов передачи движения от них к звеньям манипулятора. Наконец, в манипуляторах часто применяются устройства уравнивания, которые также существенно сказываются на конструкции манипуляторов. Рассмотрим особенности размещения и компоновки приводов и устройства уравнивания манипуляторов.

С точки зрения простоты передачи движения от двигателя к звену манипулятора лучше всего, конечно, размещать двигатели непосредственно у перемещаемых ими звеньев. Однако такая компоновка манипулятора приводит к существенному

увеличению габаритов и массы манипулятора. Этот недостаток тем существеннее, чем дальше рассматриваемое звено манипулятора находится от его основания и ближе к рабочему органу, так как тем большее число предыдущих звеньев и их приводов нагружается этим звеном. Поэтому чем дальше звено от основания манипулятора тем больший эффект дает перенос его двигателя на одно из предыдущих звеньев, поближе к основанию манипулятора. Правда, это требует введения соответствующего механизма передачи движения от двигателя к звену, что усложняет конструкцию манипулятора.

В манипуляторе робота Пума (рис.3.8) двигатель привода первой степени подвижности вокруг вертикальной оси размещен на основании манипулятора. Двигатели степеней подвижности 2 и 3 размещены рядом на втором звене. С приводимыми ими осями они связаны через редукторы, а двигатель 3 еще и валом с двумя механизмами Гука. Двигатели степеней подвижности 4,5 и 6 размещены на третьем звене манипулятора. Передача движения от них осуществляется через валы с шарнирами Гука и зубчатые передачи. Размещение этих двигателей на звеньях с другой стороны оси вращения относительно основной части звена обеспечивает статическое уравнивание веса этих звеньев манипулятора относительно осей их вращения и соответственно разгрузку двигателей 2 и 3.

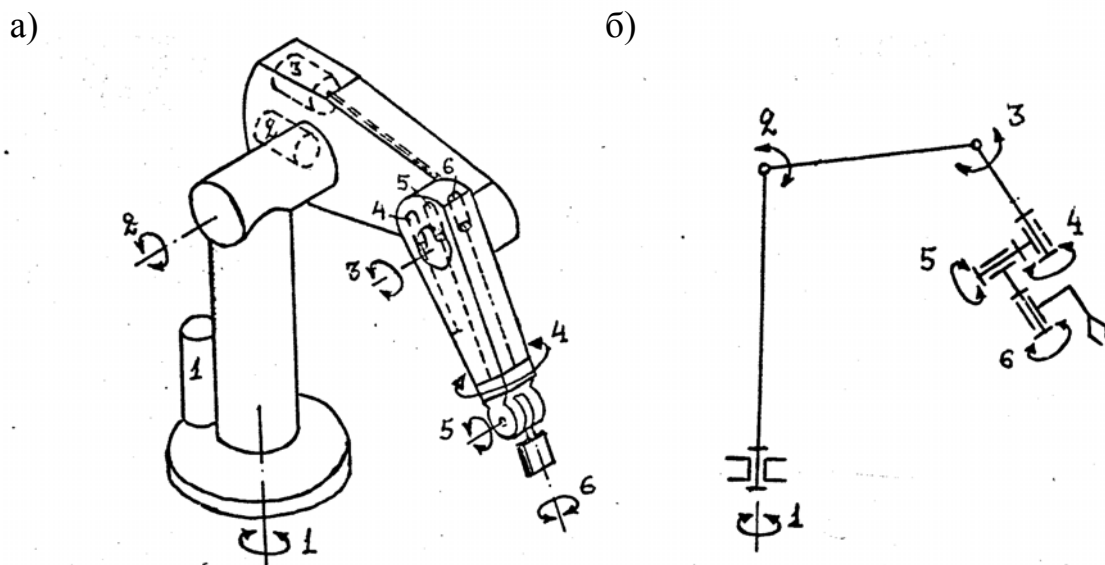


Рис.3.8. Общий вид манипулятора робота Пума фирмы Юнимейшен (а) и его кинематическая схема (б).

В манипуляторе робота на рис.3.6 двигатель первой степени подвижности относительно вертикальной оси также размещен на основании манипулятора. Движение от него передается на подвижный корпус манипулятора через волновую передачу. Двигатели всех остальных степеней подвижности, включая

ориентирующие степени подвижности рабочего органа, размещены на поворотном корпусе. (На рис. 3.6. двигатели обозначены теми же цифрами, что и связанные с ними степени подвижности). Передача движения от двигателей 2 и 3 осуществляется через шарико-винтовые передачи и систему рычагов и тяг. Передача движения на ориентирующие степени подвижности рабочего органа – наклон в вертикальной плоскости 4 и поворот вокруг вертикальной оси 5 – осуществляется через систему тяг и кривошипов, образующих параллелограммы. (Эти передачи, на рис.3.6.б не показаны).

На рис.3.9 показан пример предельного варианта компоновки манипулятора, когда все двигатели размещены в одном кожухе на основании манипулятора, а передача движения от них к звеньям манипулятора осуществляется через вставленные друг в друга трубчатые валы и конические зубчатые передачи в шарнирах манипулятора. Соответственно в первое от основания семистепенного манипулятора звено входит 7 валов, во второе – 6, а последнее, на котором размещен рабочий орган в виде схвата, – 2 вала для его вращения относительно продольной оси и для привода схвата. Соответственно изменяется и число зубчатых передач в шарнирах манипулятора от первого до последнего, конечного.

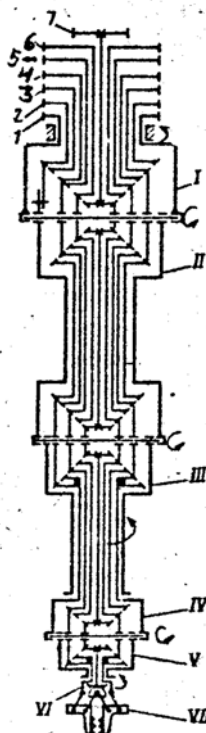


Рис. 3.9. Кинематическая схема манипулятора МЭМ-10 СД:
I-VII – звенья манипулятора; 1-7 – зубчатые колеса, соединенные с двигателями этих звеньев.

Такая компоновка применяется в копирующих манипуляторах, предназначенных для работы в экстремальных условиях, с тем чтобы вывести приводы из этих условий. Кроме того, как отмечено выше, такая компоновка обеспечивает минимальные габариты манипулятора, что в этом случае также весьма существенно.

Другой предельный случай – размещение двигателей непосредственно при приводимых ими звеньях нашел применение в манипуляторах с безредукторными вращающимися электрическими приводами (прямыми приводами) и линейными электрическими приводами. Отсутствие редукторов и механических передач позволяет обеспечить высокую точность благодаря повышенной жесткости и отсутствия зазоров. Размещение таких шарнирных манипуляторов в горизонтальной плоскости позволило одновременно резко повысить быстродействие благодаря разгрузки двигателей от веса звеньев манипулятора и полезного груза в схвате, доведя скорость рабочего органа до 10 м/с. Манипуляторы с такой компоновкой нашли широкое применение в сборочных работах.

Важным компонентом манипуляторов, как отмечено выше, являются системы уравнивания. Эти системы осуществляют статическую разгрузку приводов от веса элементов конструкции манипулятора и полезного груза, что позволяет существенно снизить усилие и мощность, требуемые от приводов. Существуют два способа такого уравнивания – пассивное и активное. Первый способ основан на применении уравнивающих грузов и пружин. Уравнивающий груз (УГ) применен в манипуляторе робота на рис.3.6, где с его помощью осуществлена разгрузка двигателей 2 и 3. Недостаток уравнивания с помощью грузов очевиден и состоит в увеличении массы манипуляторы и соответствующем снижении быстродействия. Поэтому этот способ нашел применение только в достаточно медленно действующих манипуляторах небольшой грузоподъемности. Однако часто в качестве уравнивающих грузов используются элементы конструкции самого манипулятора. В этом случае указанный выше недостаток отпадает. Примером такого решения является рассмотренная выше компоновка двух звеньев манипулятора робота на рис.3.8.

Более универсальный вариант пассивного уравнивания основан на использовании пружин. Например, в манипуляторе робота ИРБ на рис.3.6 вместо уравнивающего груза может быть применена уравнивающая пружина. Именно такое решение было реализовано в некоторых последующих модификациях этого робота фирмы АСЕА.

Способ активного уравнивания основан на применении для компенсации веса частей манипулятора простых нерегулируемых дополнительных двигателей, действующих параллельно с основными и развивающими усилие, равное статической нагрузке, приложенной к основному приводу, но противоположного направления.

Особую группу манипуляционных систем образуют манипуляторы с управляемой деформацией. На рис.3.10 приведены примеры их кинематических схем. Схема на рис.3.10,а состоит из набора дисков, имеющих сферические поверхности. В дисках имеются центральное отверстие и 4 отверстия по периферии. Через эти отверстия пропущены тросы. Их концы с одной стороны закреплены на последнем (верхнем).

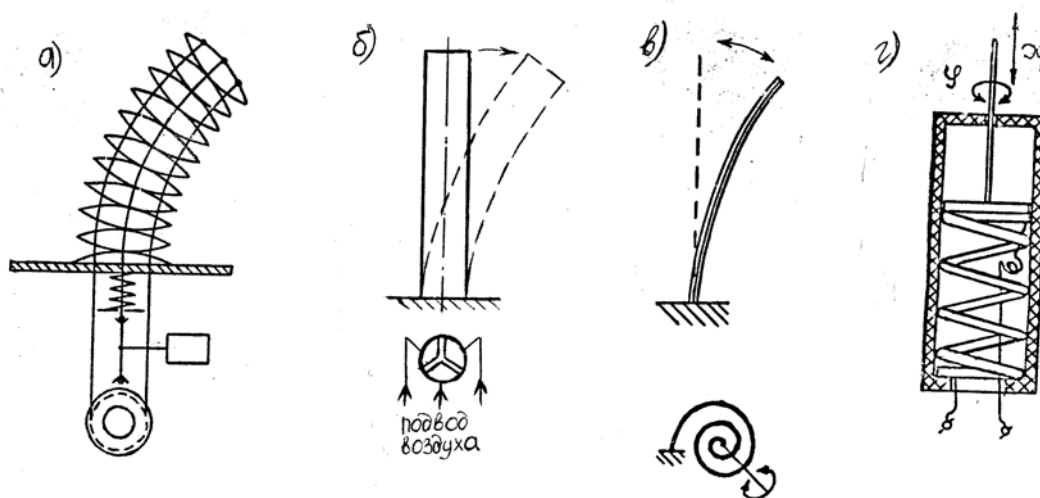


Рис.3.10. Кинематическая схема с управляемой деформацией.

диске. С другой стороны нижние концы периферийных тросов попарно присоединены к двум приводам, вращение которых вызывает деформацию всей конструкции и перемещение ее конца, на котором укреплен рабочий орган этой манипуляционной системы. Центральный трос соединен внизу с пружиной, которая осуществляет ее натяжение, центрируя всю систему дисков. Последовательное соединение нескольких таких наборов дисков со своей системой приводов позволяет создавать манипуляционные системы типа хобота, способные принимать волнообразные пространственные конфигурации и позволяющие перемещать рабочий орган при наличии многочисленных препятствий и ограничений.

На рис.3.10,б показано аналогичное пространственно изгибающееся устройство, но на пневматике. Оно состоит из трех жестко скрепленных эластичных трубок, например, резиновых. Верхний конец трубок закрыт, а снизу подведен сжатый воздух управляемого давления. При одинаковом давлении во всех трубках устройство находится в вертикальном положении. При разных значениях давления в трубках оно изгибается в сторону трубок с меньшим давлением. Как и в предыдущем устройстве последовательное соединение таких секций со своей системой подачи воздуха позволяет получить более сложные пространственные конфигурации с перегибами.

На рис.3.10,в приведены два примера звена манипуляционной системы, в котором применен биметаллический элемент, деформируемый при нагревании пропускаемым через него электрическим током. В первой схеме реализуется поступательное перемещение конца звена, а во втором – вращательное. Манипуляционные системы состояются из таких последовательно соединенных элементов.

На рис.3.10,*г* показан подвижный элемент, основанный на эффекте памяти формы. Этот эффект, которым обладают некоторые металлические сплавы (типа, латуни, бронзы и др.), состоит в следующем. Если деформировать (согнуть, закрутить) стержень из такого материала, а затем нагреть его до определенной температуры, то деформация исчезнет, а при остывании стержня она восстановится. На рис.3.8,*г* показан пример подвижного элемента, основанного на этом эффекте, в виде пружины, которая при нагреве ее электрическим током осуществляет поступательное (x) или вращательное (φ) перемещение в зависимости от вида предварительной деформации пружины.

Общей особенностью приведенных на рис.3.10,*б,в,г* схем является то, что их элементы активные, т.е. в них подвижное звено манипулятора совмещено с приводом. Другая связанная с этим же способность – эти схемы представляют собой системы с распределенными параметрами, т.е. не имеют конечного числа степеней подвижности.

Таким образом, в целом сегодня известны следующие три типа кинематических схем, которые используются в механических манипуляционных системах:

- разомкнутые кинематические цепи из жестких звеньев (основной тип кинематических схем современных манипуляторов);
- кинематические цепи, включающие параллельно соединенные звенья;
- кинематические схемы с управляемой деформацией.

Выше был рассмотрен основной тип манипуляционных систем – механические манипуляторы. Наряду с ним существует пока еще не получивший достаточно широкого распространения другой тип манипуляционных систем без подвижных частей, в которых манипуляционные операции осуществляются с помощью электромагнитных и других силовых полей. Существуют устройства сварки электронным лучом в вакууме. Двухкоординатное перемещение луча осуществляется по программе с помощью электрического или электромагнитного полей. Аналогично работают устройства для сварки, резки и раскроя различных материалов лазерным лучом. Хотя и существуют традиционной конструкции лазерные роботы, реализующие такие технологические процессы, в которых лазерный луч от генератора проходит внутри полого манипулятора с помощью системы зеркал.

Известны также различные системы управляемого перемещения и ориентации в пространстве легких объектов производства в электромагнитном поле.

Специфическую группу манипуляционных систем составляют манипуляторы, которые предназначены для выполнения манипуляционных операций на значительном расстоянии от своего основания, так что основная часть длины манипулятора служит только для переноса его рабочего органа в зону выполнения этих рабочих операций, т.е. фактически выполняет транспортную задачу. На рис.3.11 показан пример такого манипулятора длиной до 25 м., предназначенного для строительно-монтажных и т.п. работ. На рис.3.12 приведен другой вариант решения той же задачи ^{1/}.

^{1/} Тимофеев А.Н. Структурно-гибкие приводы манипуляторов для экстремальных условий работы. Научно-техническая конференция «Роботы и манипуляторы в экстремальных условиях. СПбГТУ, ЦНИИ РТК, СПб, 1992.

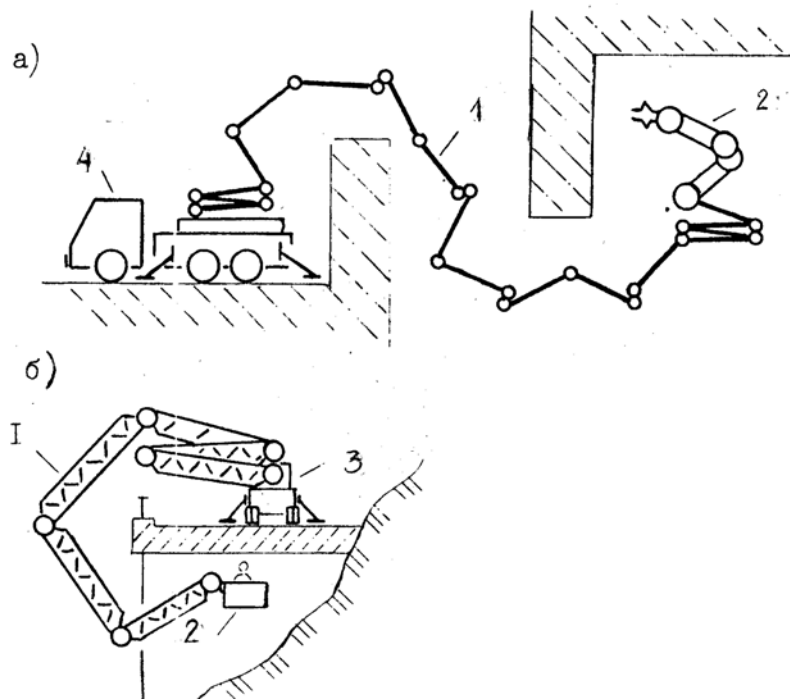


Рис.3.11. Складной манипулятор:

1 – шарнирный транспортный манипулятор, 2 – рабочий манипулятор (а) или платформа с рабочим (б), 3 – носитель.

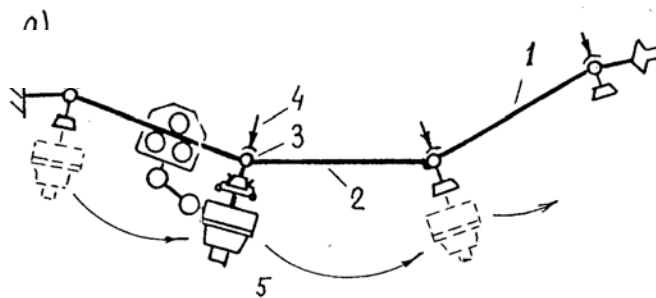


Рис.3.12. Манипулятор с перемещаемыми приводами:

1,2 – звенья механизма манипулятора, 3 – шарниры, 4 – фиксаторы (тормоза), 5 – перемещающийся привод шарниров.

3.3. Рабочие органы манипуляторов.

Рабочие органы манипуляторов служат для непосредственного взаимодействия с объектами внешней среды и делятся на захватные устройства и специальный инструмент. Рабочие органы могут быть постоянными и съемными, в том числе с возможностью их автоматической замены в ходе выполнения технологической

операции.

Захватные устройства. Они предназначены для того, чтобы брать объект, удерживать его в процессе манипулирования и освободить по окончании этого процесса. Существуют следующие основные типы захватных устройств: механические устройства-схваты, пневматические и электромагнитные. Кроме того, в связи с большим разнообразием объектов манипулирования разработано большое количество различных комбинаций этих типов захватных устройств и множество специальных захватных устройств, основанных на различных оригинальных принципах действия (например, клейкие захватные устройства, накалывающие, использующие аэродинамическую подъемную силу и т. п.).

Схваты — это механические захватные устройства, аналог кисти руки человека. Самые простые двухпальцевые схваты напоминают обычные плоскогубцы, но снабженные приводом. На рис.3.13 показана конструкция подобного схвата с пневмоприводом. В зависимости от объектов манипулирования применяют схваты с тремя, четырьмя и значительно реже с большим числом пальцев.

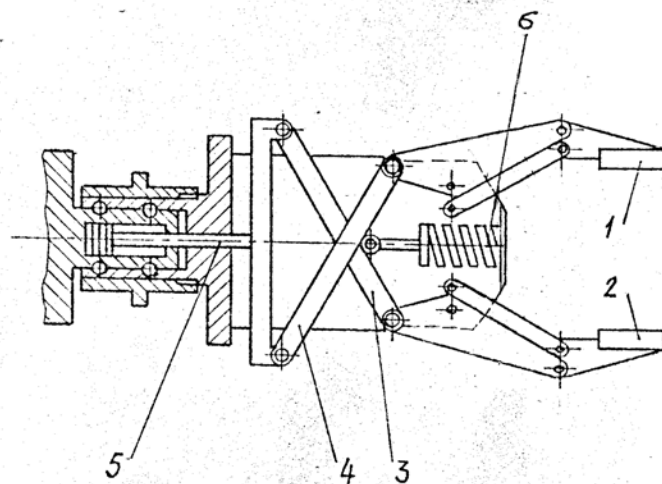


Рис.3.13. Двухпальцевый схват:

1,2 — пальцы (губки); 3,4 — рычажная передача; 5 — шток пневматического двигателя (пневмоцилиндра); 6 — возвратная пружина.

На рис. 3.14 показан сложный схват с тремя пальцами, каждый из которых имеет три подвижных звена и может поворачиваться также относительно продольной оси. Это пример применения эффекта памяти формы, показанного на рис.3.10,б. Однако в связи с простотой совершаемых схватами движений («зажим - разжим») в них обычно используются нерегулируемые пневматические и электрические приводы, значительно реже — гидравлические.

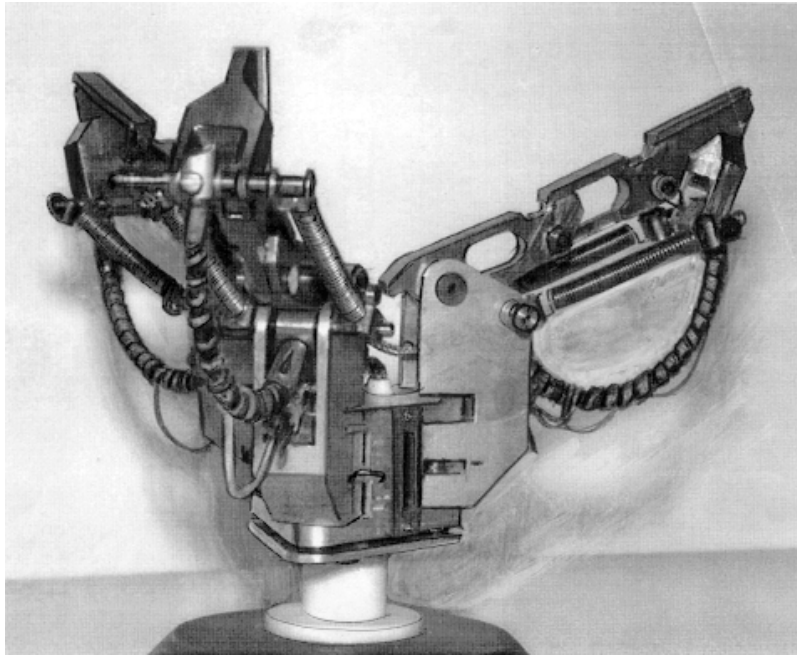


Рис.3.14. Схват с тремя пальцами.

На рис.3.15 показано устройство пневматического схвата с пятью гибкими надувными пальцами. За счет разной жесткости пальцев по сечению при подаче в них сжатого воздуха они изгибаются, захватывая находящиеся в их зоне предметы.

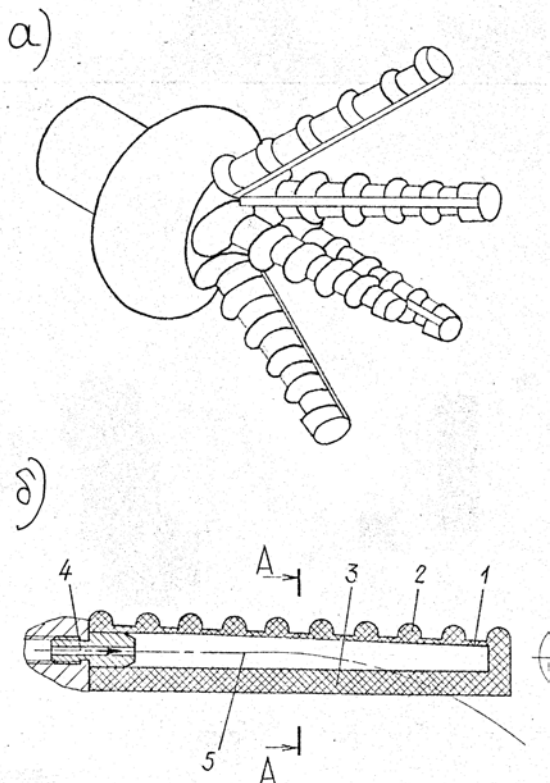


Рис.3.15. Пневматический схват с пятью гибкими надувными пальцами: а – внешний вид; б – разрез пальца:

1 – тонкостенная часть; 2 – гофры; 3 – толстостенная часть; 4 – подвод воздуха; 5 – деформация оси пальца при подаче сжатого воздуха.

Схваты часто очувствляют с помощью контактных датчиков (касания, тактильных), датчиков проскальзывания, усилия (по одной или нескольким осям) и дистанционных датчиков (ультразвуковых, оптических и др.), выявляющих предметы вблизи схвата и между его пальцами.

В наиболее распространенном типе вакуумного захватного устройства использованы вакуумные присоски, которые удерживают объекты за счет разряжения воздуха при его отсосе из полости между присоской и захватываемым объектом. Для захватывания объектов сложной формы применяют вакуумные захватные устройства с несколькими присосками.

Магнитные захватные устройства также давно известны, как и вакуумные, и широко используются для взятия ферромагнитных объектов. В роботах нашли применение в основном захватные устройства с электромагнитами, но имеются устройства и с постоянными магнитами. (Для освобождения захваченного предмета их обычно снабжают специальными механическими выталкивателями.)

Захватные устройства бывают универсальными и специальными (для работы с хрупкими и протяженными предметами, тканями и т.д.).

Захватные устройства часто присоединяют к последнему звену манипулятора через промежуточные податливые конструктивные элементы. С их помощью осуществляется компенсация возможных неточностей позиционирования и устраняются возникающие при этом механические напряжения в звеньях манипулятора в случаях манипулирования объектами, на перемещение которых наложены механические ограничения (механическая сборка и разборка, установка заготовок в зажимы и гнезда технологического оборудования, перемещение предметов по направляющей и т.п.).

Рабочий инструмент. В тех случаях, когда объектом манипулирования является рабочий инструмент, с помощью которого робот выполняет определенные технологические операции (нанесение покрытий, сварку, завинчивание гаек, зачистку поверхностей и т.п.), этот инструмент, как правило, не берется захватным устройством, а непосредственно крепится к манипулятору вместо него. Часто при этом к инструменту необходимо обеспечить подвод энергии или какого-либо рабочего тела. Для окрасочного робота — это краска и воздух к пульверизатору, для сварочного робота — сварочный ток к сварочным клещам при точечной сварке или проволочный электрод, газ и охлаждающая вода при дуговой сварке и т.д. Для этого требуется разработка специальной конструкции всего манипулятора.

3.4. Системы передвижения мобильных роботов

Системы передвижения роботов относятся к их исполнительным системам наряду с манипуляционными системами. В современных мобильных роботах нашли применение практически все известные транспортные средства и, кроме того, предметом робототехники являются различные бионические способы передвижения (локомоций), т.е. заимствованные у живой природы. К ним прежде всего относится шагание.

По типу внешней среды средства передвижения подразделяются на наземные, водные, воздушные и космические, а по широте применения – на универсальные и специальные, предназначенные для особых условий и целей. Наземные универсальные системы передвижения – это традиционные колесные и гусеничные транспортные средства, а также шагающие (стопходящие). Первые наземные мобильные роботы были созданы в связи с потребностью расширения рабочей зоны их манипуляторов, а также для выполнения чисто транспортных операций (внутрицеховой, складской и т.п. транспорт). На рис.3.16 и 3.17 показаны примеры мобильных роботов на колесном и гусеничном ходу. Существуют также наземные роботы, передвигающиеся по рельсам.

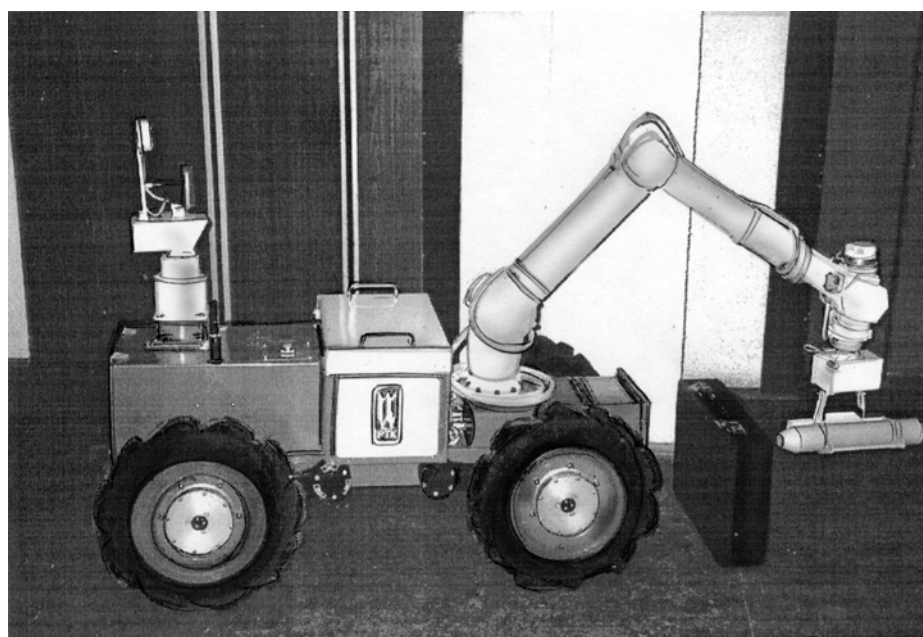


Рис.3.16. Мобильный робот на колесном ходу (ЦНИИ РТК).

Мобильные роботы, предназначенные для выполнения только транспортных операций по перевозке грузов (робокары), часто не имеют манипуляторов, а снабжаются упрощенными одно- и двухступенными погрузо-разгрузочными устройствами или последние операции выполняются стационарными манипуляторами, находящимися в местах остановки транспортных роботов.

На рис.3.18 показан внешний вид транспортного робота подвешенного типа, ко-

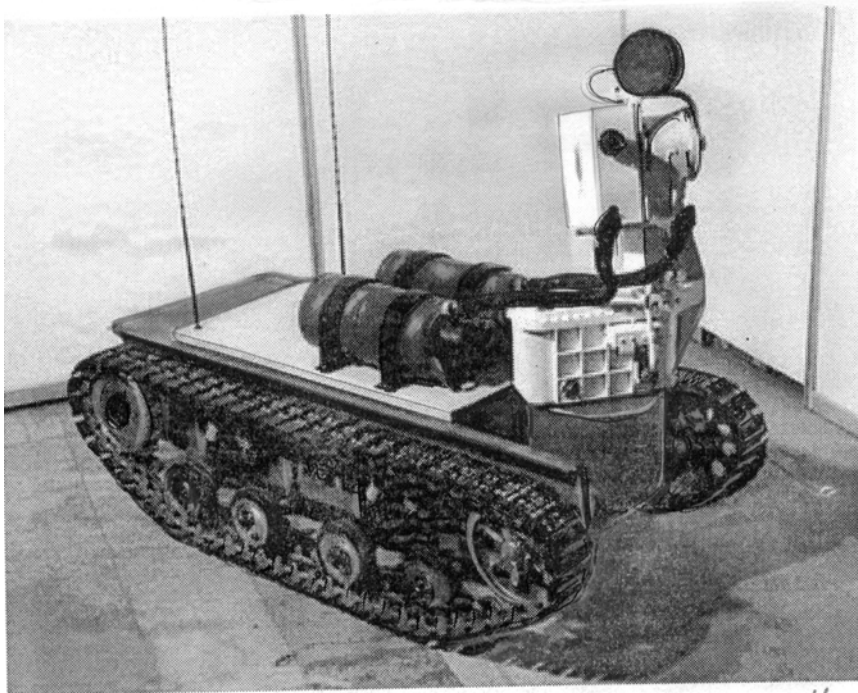


Рис.3.17. Мобильный робот на гусеничном ходу (ЦНИИ РТК).

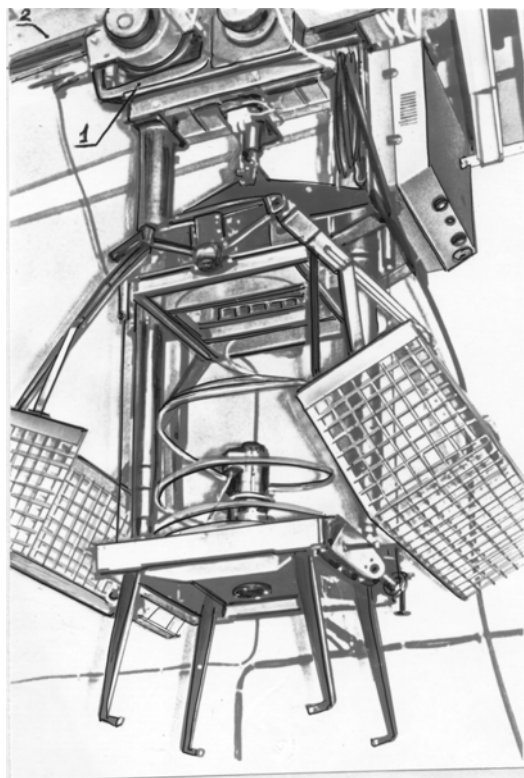


Рис.3.18. Подвесной транспортный промышленный робот ТРТ –1-2500:
1 – тележка; 2 – монорельс.

торый передвигается по монорельсовому пути. Внизу видны захватное устройство и защитная сетка, предохраняющая от самопроизвольного падения переносимого груза. На рис.3.19 и 3.20 показаны примеры роботов со специальными средствами передвижения, нашедшими применение в робототехнике.

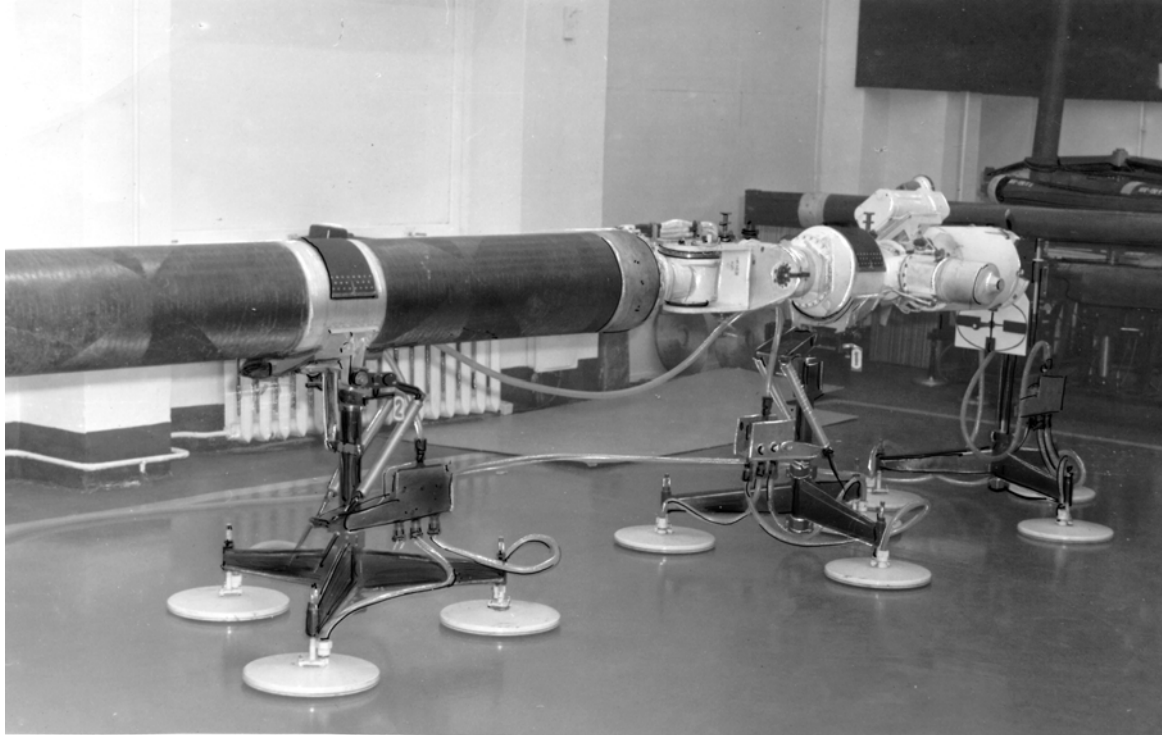
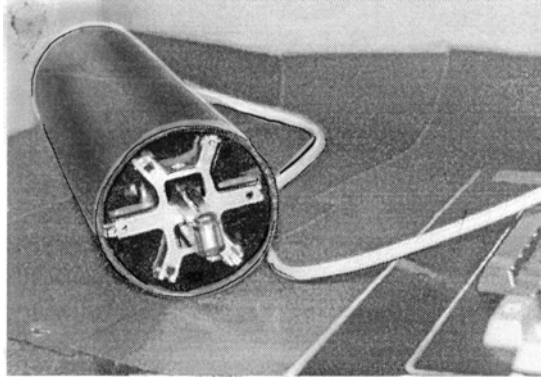


Рис.3.19. Звено манипулятора, перемещающегося на воздушных подушках.

Особый раздел робототехники составляют шагающие системы передвижения и основанные на них транспортные машины. Они являются предметом робототехники потому, что механические ноги – педипуляторы (от латинского слова *pes* – нога) наиболее близки другому объекту робототехники – механическим рукам – манипуляторам. Однако значение и потенциальные области применения шагающих машин далеко выходят за пределы робототехники. Способ передвижения с помощью ног (шагание, бег, прыгание), как известно, является наиболее распространенным в живой природе. Однако в технике он еще не получил заметного применения прежде всего из-за сложности управления. Развитие робототехники создало необходимую научно-техническую основу для реализации этого принципиально нового в технике способа передвижения и для создания соответствующего нового типа транспортных машин – шагающих.

Шагающий способ представляет основной интерес для движения по заранее неподготовленной местности с препятствиями. Традиционные колесные и гусеничные транспортные машины оставляют за собой непрерывную колею, тратя на это значительно большую энергию, чем в случае передвижения шагами, когда взаимодействие с грунтом происходит только в местах упора стопы. Поми-

а)



б)

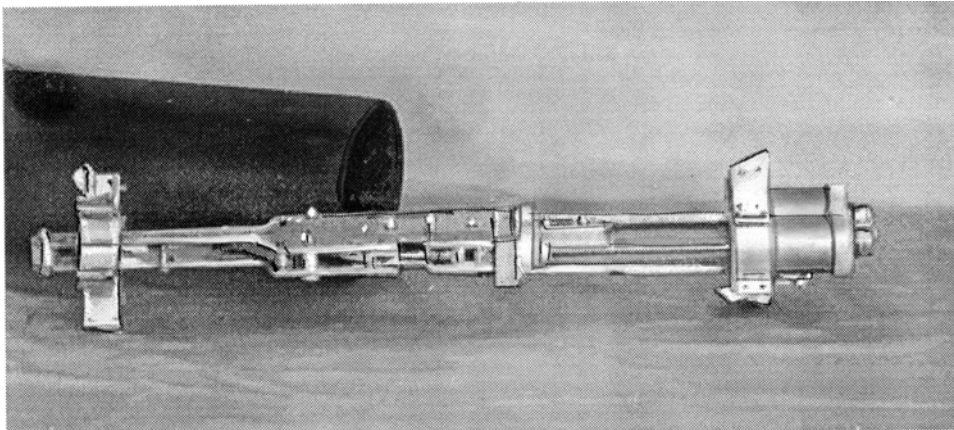


Рис.3.20. Робот «Трубоблаз» для обследования трубопроводов в трубе (а) и вне (б). Передвижение осуществляется подобно гусеницы путем поочередного закрепления концов корпуса и сокращения его длины на основе эффекта памяти формы (ЦНИИ РТК).

мо большей экономичности шагающий способ передвижения обладает и большей проходимостью на пересеченной местности вплоть до возможности передвигаться прыжками, лазать по наклонным поверхностям и т.п. При шагающем способе меньше разрушается грунт, что, например, важно при передвижении в тундре. При передвижении по достаточно гладкой и подготовленной поверхности этот способ уступает колесному в экономичности, по скорости передвижения и простоте управления.

В общем случае шагающая транспортная машина состоит из следующих частей: несущей платформы (корпуса); системы энергоснабжения; системы передвижения, состоящей из механических ног – педипуляторов с приводами степеней подвижности; системы управления; информационной системы; системы связи с оператором. В задачи системы управления входят:

- стабилизация положения корпуса машины в пространстве на определенной высоте от грунта в процессе движения независимо от рельефа местности;
- обеспечение движения по заданному (или выбранному) маршруту с обходом препятствий;
- связанное управление ногами, реализующее определенную походку с адаптацией к рельефу местности.

Задача информационной системы – обеспечение системы управления информацией об окружающей среде, необходимой для выполнения перечисленных выше задач.

Поскольку основное назначение шагающих машин — передвижение по сильно пересеченной местности, управление ими обязательно должны быть адаптивным. В системе управления при этом различаются обычно следующие три уровня управления:

- первый, нижний (динамический) уровень управления приводами отдельных степеней подвижности ног;
- второй (алгоритмический) уровень построения походки, т.е. координации движений ног, со стабилизацией при этом положения корпуса машины в пространстве;
- третий уровень формирования типа походки, направления и скорости движения исходя из заданного маршрута в целом.

Первый и второй уровни должны реализовываться автоматически, а третий уровень может осуществляться и с участием человека-оператора («водителя» машины).

Попытки создать шагающие аппараты предпринимались давно. Одна из первых моделей «стопходящей» машины была создана в прошлом веке математиком и механиком П. Л. Чебышевым. На рис.3.21 показан четырехногий шагающий робот для сбора разлитых нефтепродуктов.



Рис.3.21. Мобильный четырехногий шагающий робот для сбора разлитых нефтепродуктов. (Волгоградский ГТУ).

На рис.3.22 представлен четырехногий транспортный промышленный робот, разработанный в США для внутрицеховых работ, в частности, в металлургии. Грузоподъемность робота — 300 кг, программирование — методом обучения. Для этого в передней части робота предусмотрено место оператора.

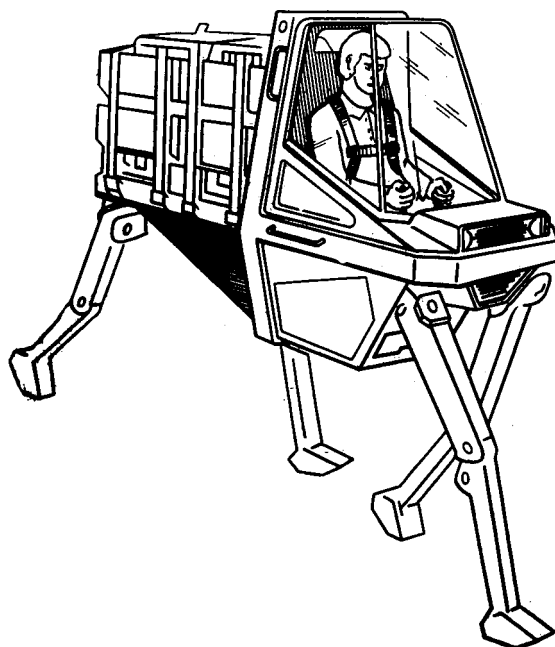


Рис.3.22. Четырехногий транспортный робот для внутрицеховых работ.

Хотя, как уже упоминалось, в чистом виде шагающий способ передвижения еще не получил практического применения на транспорте вследствие его сложности, в комбинации с другими более традиционными способами он уже используется. В частности, реализована комбинация колесного и шагающего способов в так называемых колесно-шагающих транспортных машинах [3]. Применяются два варианта такой комбинации. В первом случае режимы качения и шагания осуществляются раздельно и последовательно с помощью отдельных приводов. Например, колеса устанавливаются на концах вертикальных рычагов подвески, которые могут поворачиваться на 360° относительно корпуса машины. При включении приводов этих рычагов машина передвигается на них, опираясь на колеса. При вертикальном положении рычагов подвески машина движется на колесах в режиме обычного качения. На рис.3.23 показан опытный образец такой транспортной машины (США) [3].

Во втором варианте оба режима — качения и шагания — осуществляются одновременно. Опоры механизма шагания выполняются в виде колес и перемещаются вперед относительно корпуса машины без отрыва от грунта. При этом колеса, вращаясь, участвуют в создании тягового усилия.



Рис.3.23. Образец колесно-шагающей машины с четырьмя колесами.

Ведутся научно исследовательские работы по созданию шагающих машин, способных перемещаться подобно насекомым по вертикальным и наклонным поверхностям вплоть до движения «вниз головой». На рис.3.24 показан вариант подобной шестиногий шагающей машины. Для сцепления с поверхностью ис-

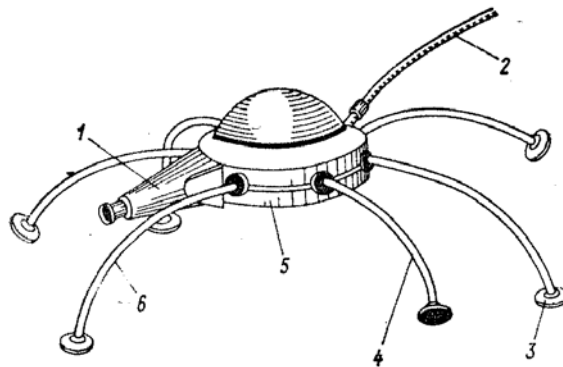


Рис.3.24. Шестиногий шагающий аппарат с приклеивающимися стопами ног:

1 – телевизионная камера; 2 – шланг питания и управления; 3 – стопа ноги, в которую подается клейкая жидкость; 4 – одна из поднятых ног; 5 – корпус.

пользуется клейкая жидкость, которая практически мгновенно затвердевает под действием электрического или магнитного поля. Шесть ног робота образуют две группы по три ноги. Каждая группа имеет по два привода, осуществляющих подъем ног (относительно корпуса робота) и перемещение вдоль поверхности в направлении движения. Благодаря симметрии конструкции робот может

передвигаться в любом направлении без поворота корпуса. Для обеспечения сцепления ног с поверхностью могут использоваться и более традиционные средства, такие, например, как электромагниты и пневматические присоски.

Наряду с шаганием ведутся научно-исследовательские работы по техническому освоению другого способа наземного передвижения – ползания. Как и шагание этот способ обладает уникальными возможностями по проходимости и универсальности, включая возможность передвижения под землей и в воде. Трудности освоения этого способа передвижения аналогичны шаганию и вообще всем способам передвижения живых организмов – это сложность кинематики и алгоритмов управления.

Водные системы передвижения роботов основаны на традиционных средствах водного транспорта. На рис.1.7 был показан один из первых отечественных роботов «Манта», в котором использованы винтовые движители для погружения, поступательного движения и маневрирования. Такие же движители применяются и во всех последующих конструкциях подводных роботов. Их типовая система передвижения включает один или два вертикально направленных движителя заглубления и два или три поворотных движителя, создающих управляемый по направлению и величине продольный вектор тяги для поступательного движения аппарата. Двигатели, входящие в состав этих движителей – электрические постоянного тока.

Новым направлением в создании систем передвижения в воде, которое разрабатывается в робототехнике, является техническое освоение способов плавания живых организмов – с помощью плавников и путем волнообразного движения всего тела. На рис.3.25 показан экспериментальный образец плавучего

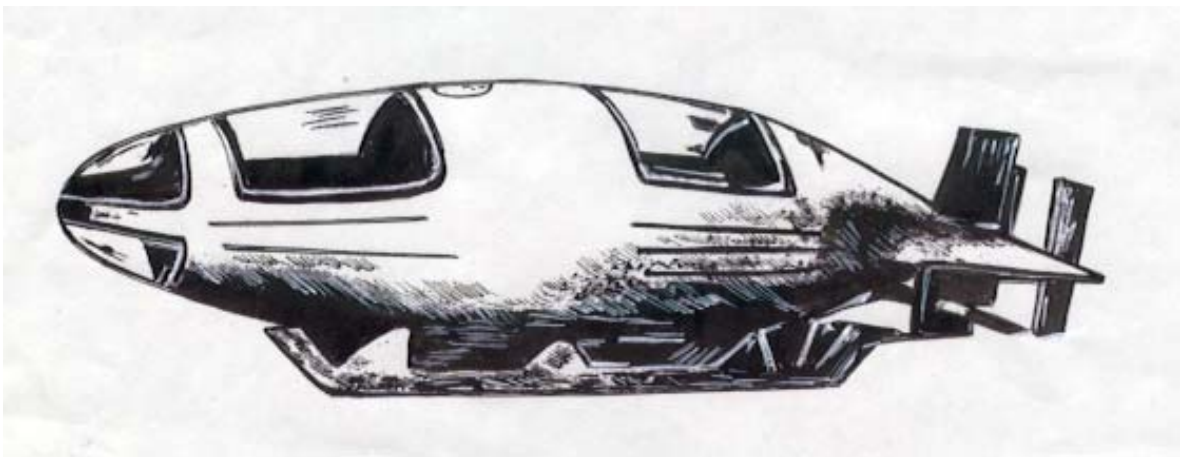


Рис.3.25. Экспериментальный подводный аппарат с крыльевым двигателем подобным хвосту дельфина.

средства с плавниковым движителем типа хвоста дельфина [5]. К достоинствам подобных средств плавания относятся их экологическая чистота, бесшумность и способность осуществлять позиционирование в заданной точке в условиях

различных возмущающих воздействий со стороны внешней среды (течение, волнение и т.п.).

Воздушные системы передвижения как и водные развиваются по двум направлениям: во-первых, используются освоенные в авиации способы полета, а, во-вторых ведутся исследования по освоению способов известных в живой природе. На рис.3.26 показан один из экспериментальных образцов подобного «Махолета».

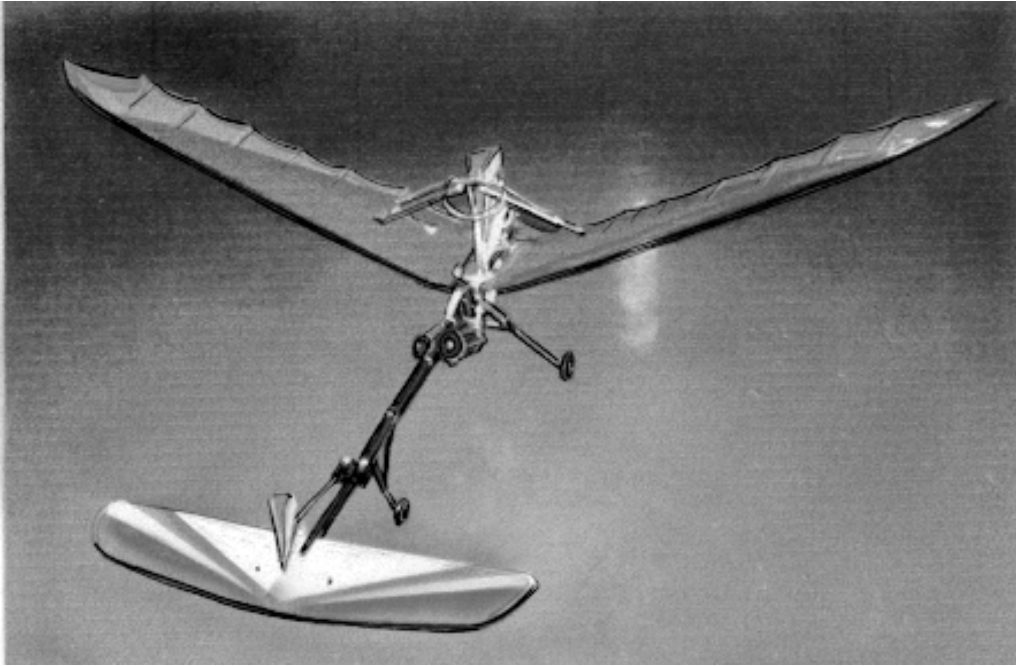


Рис.3.26. Экспериментальный образец летательного аппарата «Махолет» с машущими крыльями на пневматическом приводе.

Космические системы передвижения разделяются на системы для свободно летающих роботов, для роботов, обслуживающих космические аппараты (снаружи и внутри) и для напланетных роботов. На рис.3.27 показан пример конструкции свободнолетающего робота. Робот включает двигательную установку с системой двигателей, создающих усилие по отдельным степеням подвижности робота, систему питания двигателей с топливными баками, два сменных манипулятора с устройством управления, навигационную систему, систему ориентации робота, систему радиосвязи, телевизионную систему, включающую две неподвижные и одну подвижную передающие телевизионные камеры, а также осветители. Поперечный размер робота — 1 м, масса — около 200 кг.

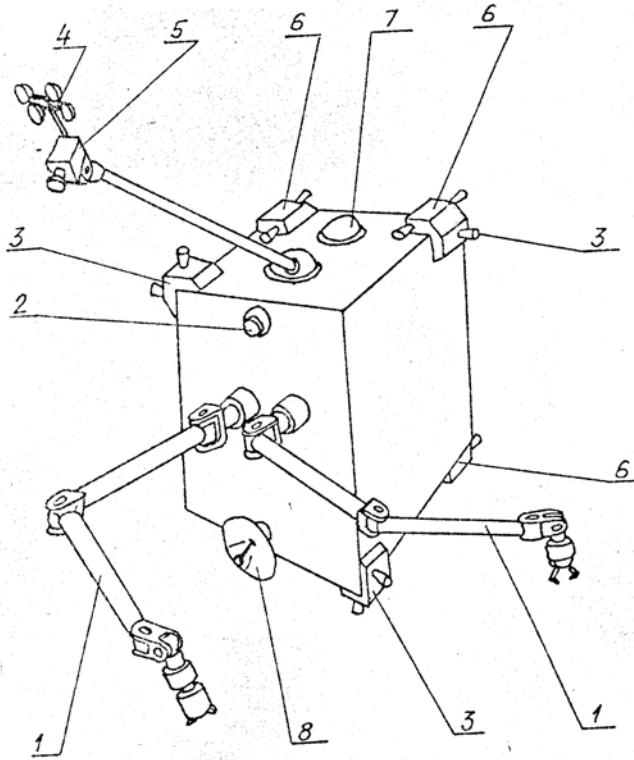


Рис.3.27. Свободнолетающий космический робот:

- 1 – манипуляторы; 2 – неподвижная телекамера; 3 – двигатели ориентации;
- 4 – осветители; 5 – подвижная телекамера; 6 – двигатели движения вперед-назад;
- 7 – радиоантенна; 8 – радиолокатор.

На рис.3.28 приведен образец космического шагающего робота для наружного

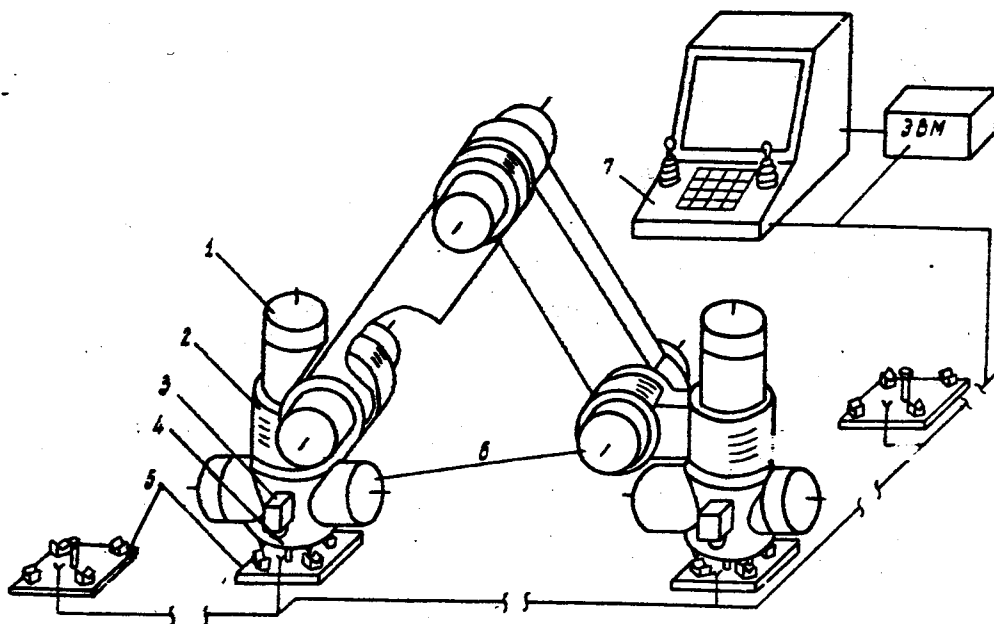


Рис. 3.28. Космический шагающий робот «Циркуль» для наружного обслуживания орбитальных станций (ЦНИИ РТК): 1 – модуль управления шарниром, 2 – вращающийся токосъемник, 3 – телевизионная камера, 4 – стыковочное устройство, 5 – такелажный элемент, 6 – привод (бесколлекторный двигатель, тормоз, инкрементный датчик), 7 – перекосный пульт управления.

обслуживания орбитальных космических станций. Он представляет собой манипулятор, оба конца которого являются рабочими органами в виде стыковочного устройства. С их помощью манипулятор шагает по расположенным на поверхности обслуживаемого объекта такелажным элементам, через которые он получает электроэнергию и связь с пультом управления.

На рис.3.29 показан один из вариантов отечественных напланетных роботов типа «Луноход». Он имеет восьмиколесное шасси, где каждое колесо имеет свой электрический привод (мотор-колесо).

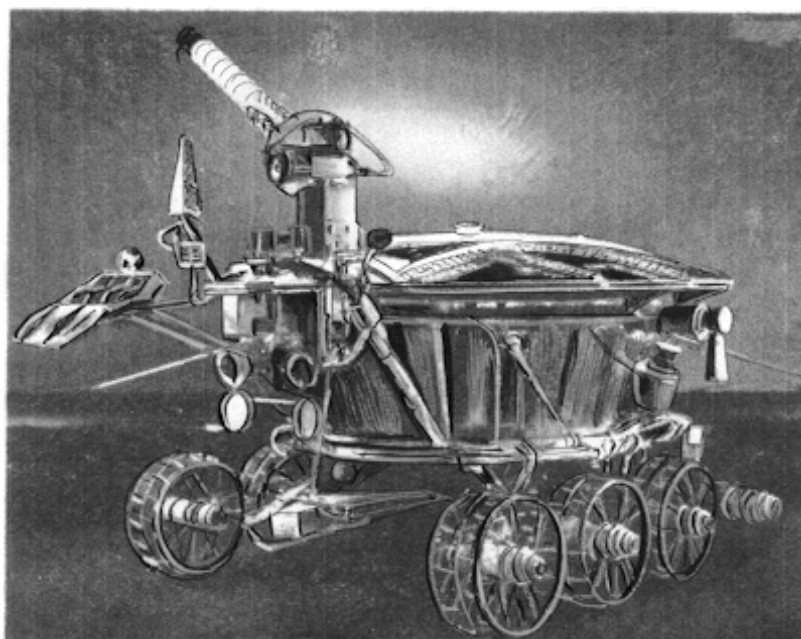


Рис.3.29. Напланетный космический аппарат «Луноход».

На рис.3.30 показано шасси «Марсохода», разработанного ВНИИТрансмаш по международной программе «Марс-96». Шасси имеет значительно большую проходимость, чем его предшественники «Луноходы», за счет изменяемой конфигурации шасси. Оно реализовано на трехосной со свободной подвеской осей схемой с шестью индивидуально управляемыми мотор-колесами в форме усеченных конусов и двумя механизмами шагания. Такое шасси способно преодолевать пылевые подьемы под углом до 45° , эскарпы и контрэскарпы с перепадом высот, в три раза превышающим диаметр колес. Приводы колес и питающие их аккумуляторы размещены в закрытых полостях колес. Система управления шасси позволяет осуществлять дистанционное командное радиоуправление движением и автоматическое программное управление с автоматическим обходом препятствий.



Рис.3.30. Экспериментальный образец аппарата «Марсоход» на испытаниях.

3.5. Сенсорные системы.

Сенсорные системы роботов – это чувствительные устройства, предназначенные для получения оперативной информации о состоянии внешней среды. В отдельных системах роботов имеются также различные чувствительные устройства - датчики, необходимые для функционирования этих систем (например, датчики обратной связи в приводах, во вторичных источниках питания и т.п.). Эти устройства, ориентированные на внутренние параметры робота, не специфичны для него в целом и поэтому не относятся к сенсорным системам робота.

По виду выявляемых свойств внешней среды сенсорные системы роботов делятся на три группы:

- 1) сенсорные системы, служащие для определения геометрических свойств объектов и внешней среды в целом;
- 2) сенсорные системы, выявляющие другие физические свойства;
- 3) сенсорные системы, выявляющие химические свойства.

Характерными представителями сенсорных систем первой группы являются измерители координат (сканирующие локаторы, координаторы, информационные линейки и т.п.). Вторая группа сенсорных систем, предназначенных для определения физических свойств объектов наиболее разнообразна. Здесь в первую

очередь следует выделить измерители усилий, плотности, температуры, цвета; оптической прозрачности и т.п. В третью группу входят измерительные устройства для определения химического состава и химических свойств среды.

Информация от сенсорных систем используется в системе управления робота для обнаружения и распознавания объектов внешней среды, для управления движением робота и его манипуляторов.

По дальности действия сенсорные системы делятся на контактные, ближние, дальние и сверхдальние. *Контактные сенсорные системы* применяют для очувствления рабочих органов манипуляторов и корпуса (бампера) мобильных роботов. Они позволяют фиксировать контакт с объектами внешней среды (тактильные датчики), измерять усилия, возникающие в месте взаимодействия (силометрические датчики), определять проскальзывание объектов при их удержании захватным устройством. Контактным сенсорным системам свойственна простота, но они накладывают существенные ограничения на динамику и прежде всего на быстродействие управления роботом.

Сенсорные системы *ближнего действия* обеспечивают получение информации об объектах, расположенных непосредственно вблизи рабочего органа манипулятора или корпуса робота, т.е. на расстояниях, соизмеримых с их размерами. К таким системам относятся, например, локационные сенсоры, различные дальномеры ближнего действия, дистанционные измерители плотности грунта и т.п. Такие бесконтактные устройства технически сложнее контактных, но позволяют роботу выполнять задание с большей скоростью, заранее выдавая информацию об объектах до контакта с ними.

Сенсорные системы *дальнего действия* служат для получения информации о внешней среде в объеме всей рабочей зоны манипуляторов роботов и окружающей среды мобильного робота.

Сенсорные системы *сверхдальнего действия* дают информацию об объектах, находящихся вне рабочей зоны манипуляторов. Их применяют главным образом в мобильных роботах. К таким устройствам относятся различные навигационные приборы, координаторы, локаторы и другие сенсорные системы соответствующей дальности действия. Эти устройства находят применение и в стационарных роботах при работе с подвижными объектами, чтобы заранее предусмотреть их появление в рабочей зоне.

В бесконтактных сенсорных системах для получения требуемой информации могут быть использованы излучаемые ими специальные сигналы (оптические, радиотехнические, радиационные и т.д.) или естественные излучения среды и ее объектов. В зависимости от этого различают активные и пассивные сенсорные системы. Активные сенсорные системы обязательно включают передающее устройство, излучающее первичный сигнал, и приемное устройство, регистрирующее прошедший через среду прямой сигнал или вторичный сигнал, отраженный от объектов среды. Пассивные устройства имеют, естественно, только приемное устройство, а роль излучателя играют сами объекты внешней среды. В связи с этим пассивные сенсорные устройства технически обычно проще и дешевле

активных, но менее универсальны.

Наконец, сенсорные системы можно разделить на устройства с фиксированным направлением восприятия и с переменным направлением восприятия (сканирующие).

В настоящее время для оучувствления роботов наиболее широко применяют системы технического зрения, локационные, силометрические системы, а также тактильные сенсоры.

Последние относят к простейшим чувствительным устройствам. Помимо получения информации о контакте они применяются и для определения размеров объектов (путем их ошупывания). Тактильные сенсоры могут быть технически реализованы на концевых выключателях, герметизированных магнитоуправляемых контактах, пьезокристаллических преобразователях, на основе токопроводящей резины («искусственная кожа») и т.д. Важным требованием, предъявляемым к этим устройствам, является высокая чувствительность (срабатывание при усилии в единицы и десятки грамм) при малых габаритах, сочетающаяся с высокой механической прочностью и надежностью. Существенный недостаток тактильных сенсоров, как уже упоминалось, заключается в том, что они, как правило, накладывают ограничения на быстродействие робота. Для повышения надежности и скорости выполнения рабочих операций хватные устройства робота часто оучувствляют бесконтактным рецепторным полем, например, с использованием светолокационных и ультразвуковых датчиков.

На рис. 3.31 приведена функциональная схема светолокационного датчика.

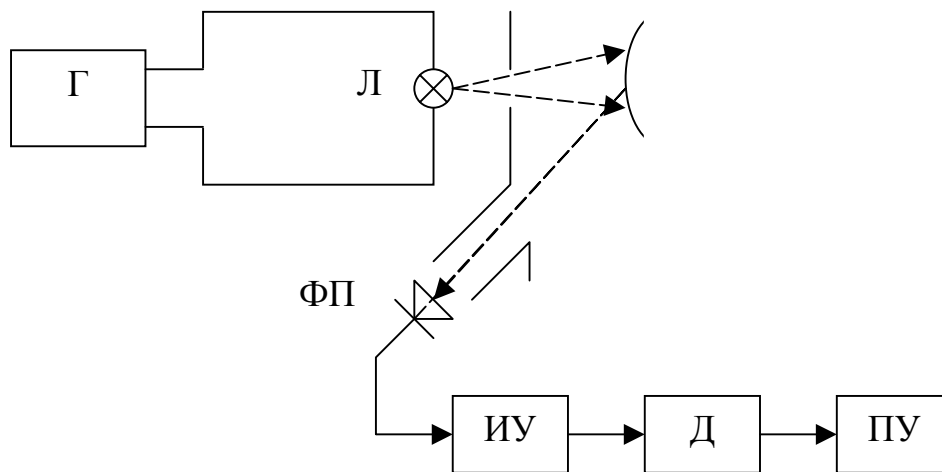


Рис.3.31. Схема светолокационного сенсорного устройства.

Световой поток, создаваемый лампой накаливания Л, модулируется изменением напряжения питания, поступающего с генератора Г, проходит через диафрагму и излучается в пространство. При появлении в поле этого излучения какого-либо препятствия происходит отражение светового потока. Часть отраженного светового потока попадает на фотоприемник ФП, усиливается избирательным усилителем ИУ, настроенным на частоту модуляции излучения, и после детектирования детектором Д подается на пороговое устройство ПУ.

Последнее выдает сигнал при превышении принятым сигналом заданного уровня. Датчик имеет дальность действия до 10 см.

На рис. 3.32 представлена схема ультразвукового сенсорного устройства. Его принцип действия заключается в акустической локации пространства. Генератор Г вырабатывает импульсы высокого напряжения, которые через коммутирующее устройство КУ поступают на электрод электростатического капсюля ЭК. Под действием электростатического поля мембрана М капсюля деформируется, излучая в воздух ультразвуковой импульс, который после отражения от объекта воспринимается тем же капсюлем. Усиленный усилителем-формирователем УФ

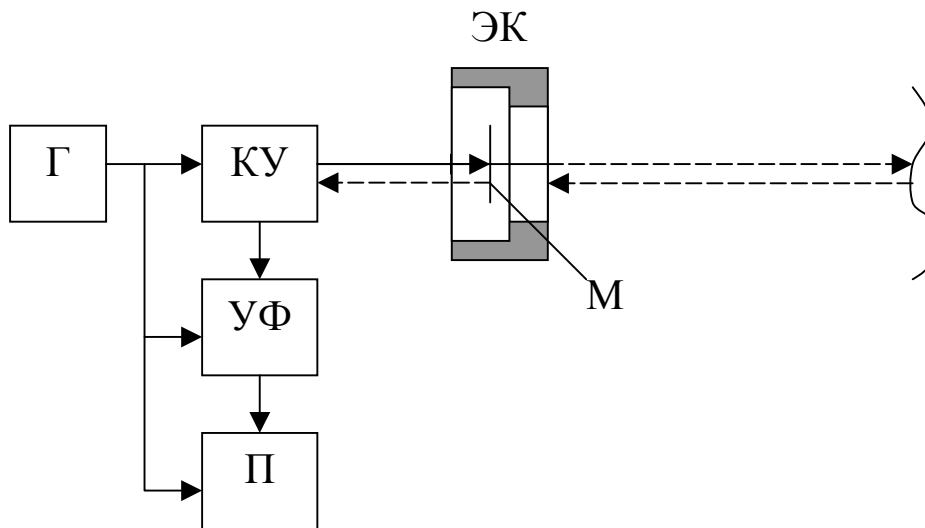


Рис.3.32. Схема ультразвукового сенсорного устройства.

импульс поступает далее на преобразователь П, формирующий импульс, длительность которого пропорциональна расстоянию до отражающей поверхности.

Для определения пространственных координат объектов, находящихся в рабочей зоне робота, служат координаторы, информационные линейки и поля, чувствительные поверхности. Для этой же цели пригодны и системы технического зрения. В частности, для определения угловых координат объектов можно использовать телевизионную систему с одной передающей камерой. Дальность до объекта в этом случае определяется методом автоматической оптической фокусировки (АОФ). Погрешность измерения такой системой угловых координат составляет несколько процентов, а погрешность определения дальности около 10 %.

Однако основным назначением систем технического зрения в роботах является получение видеoinформации об объектах внешней среды с целью их обнаружения и идентификации. Как было показано в параграфе 1.2, развитие систем технического

зрения и использующих их очувствленных роботов относится к одной из наиболее актуальных задач современной робототехники. При этом наряду с изучением и использованием методов решения этой задачи, присущих живой природе, широким фронтом ведутся разработки технических решений, не имеющих аналогов в природе. По сравнению со зрением живых организмов задача обеспечения технического зрения проще в том отношении, что, как правило, здесь существенно более ограничен и заранее предопределен перечень объектов внешней среды, с которыми предстоит иметь дело, а также существует возможность в определенной степени специально организовать внешнюю среду для облегчения работы видеосистем. Например, часто для распознавания объектов можно маркировать их, применять контрастирующие с объектами поверхности, на которых они расположены, специальные системы освещения и т.д.

Вместе с тем по сравнению с видеосистемами других назначений к системам, предназначенным для использования в составе роботов, предъявляются такие серьезные требования, как необходимость работать в реальном масштабе времени, т.е. практически с выдачей информации максимум через десятые доли секунды после зафиксированного изменения внешней среды и обладать высокой надежностью при невысокой стоимости.

Системы технического зрения могут быть монокулярными, бинокулярными (стереозрение) и с несколькими «точками зрения». Специфическим в этом отношении для роботов вариантом является применение подвижных видеосенсорных устройств, в том числе размещаемых непосредственно на манипуляторах.

Простейший вариант системы технического зрения — это двухуровневая черно-белая система, в которой выделяются только две крайние градации яркости изображения (0 или 1) без учета промежуточных значений яркости (полутон серого цвета).

Система технического зрения (рис.3.33) состоит из первичного преобразова-

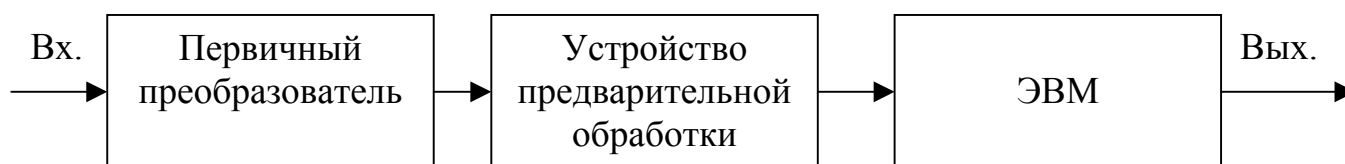


Рис.3.33. Функциональная схема системы технического зрения

теля зрительного изображения в электрический сигнал, устройства предварительной обработки зрительной информации и ЭВМ, которая реализует конкретные алгоритмы анализа внешней среды, распознавания ее зрительных образов, выявления конкретных свойств внешней среды и определения требуемых количественных ее параметров. В качестве первичных преобразователей применяют электроннолучевые преобразователи, т.е. телевизионные передающие

трубки, и полупроводниковые приборы, особенно с зарядной связью (ПЗС-структуры). Наряду с видимым диапазоном электромагнитного излучения преобразователи работают и в других участках спектра этого излучения: в инфракрасном (ИК) диапазоне (тепловидение), ультракоротком (субмиллиметровом) радиодиапазоне. Отдельную группу образуют преобразователи, способные работать в непрозрачных средах вплоть до твердых тел (интроскопия). В этом случае используют различные проникающие излучения, в частности рентгеновское и ультразвуковое.

Зрительная информация обрабатывается иерархически на нескольких уровнях аналогично тому, как это происходит в живых организмах (см. главу 2). В аппаратной реализации эти уровни, как и показано на рис. 3.33, образуют два основных этапа обработки информации. Первый этап — обработка первичной зрительной информации устройством предварительной обработки с целью резкого сокращения объема информации с выделением только той, которая необходима для функционирования робота при выполнении им конкретных операций. Для этого используются методы, отличные от применяемых в современных ЭВМ и, в частности, с использованием пространственно-временной фильтрации, подобной реализуемой в нейронных сетях живых организмов (см. главу 2). Поэтому здесь используются нейросетевые структуры и аналоговые оптические системы параллельной обработки информации, в том числе с использованием голографических методов [6]. Второй этап обработки информации можно осуществлять уже последовательно в цифровой форме на стандартных ЭВМ типа персональных компьютеров (рис. 3.33). На этом этапе информация обрабатывается тоже иерархически путем последовательного выделения все более общих признаков объектов внешней среды вплоть до формирования модели среды той степени абстракции, которая необходима для решения на ее основе конкретных задач, стоящих перед роботом. При этом, как упоминалось выше, для максимального упрощения алгоритмов обработки информации используется вся априорная информация о модели внешней среды и ограничениях на ее изменение. Так, подобно происходящему в живых организмах, обычно последовательно осуществляется выделение контуров объектов внешней среды, затем отделение этих объектов друг от друга, определение их свойств, которые существенны для распознавания и классификации. Одним из распространенных в силу своей простоты способов распознавания и идентификации объектов является использование эталонных моделей (шаблонов), с которыми сравнивают объекты внешней среды. В самом простейшем случае такое сравнение производится непосредственно на уровне зрительного образа оптическими средствами. Так, например, можно контролировать качество печатных плат и микросхем, распознавать цифровые и буквенные обозначения и т.п. Однако чаще такой эталон задается аналитически в численной форме, к которой приводятся и сравниваемые с ним объекты.

Конструктивно сенсорные устройства размещают на рабочих органах манипуляторов (устройства ближнего действия), на корпусе робота или вне

робота (устройства дальнего и сверхдальнего действия). На рис.3.34 показаны примеры оучувствленных схватов роботов.

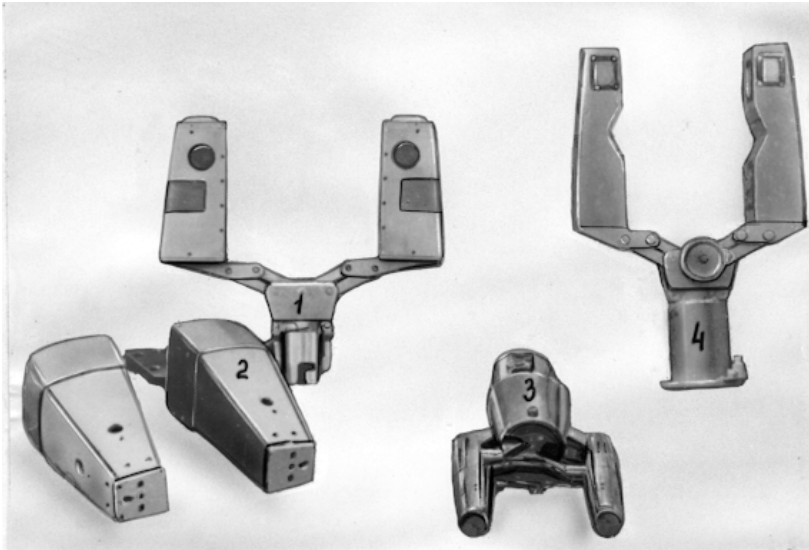


Рис.3.34. Оучувствленные схваты ЦНИИ РТК:

1 – СЗУ 1 с девятью ультразвуковыми датчиками; 2 – ССЛТ-1 с девятью тактильными и восемью световыми локаторами; 3 - ССЛТ-2 с 26 тактильными датчиками и 16 световыми локаторами; 4 – СУЗ-2 с 12 ультразвуковыми локаторами.

3.6. Устройства управления роботом.

Устройство управления робота осуществляет автоматическое управление его исполнительными системами – манипуляционными и передвижения, образуя в совокупности с ними как объектами управления систему автоматического управления робота. Кроме того, часто устройство управления роботом используют и для управления различными другими объектами (технологическим оборудованием, транспортными устройствами и т. п.), которые работают совместно с роботом, образуя с ним единый технологический комплекс.

Как уже было сказано, по способу управления различают следующие системы управления роботом и соответствующие устройства управления:

программные, в которых управление осуществляется по заранее составленной и остающейся неизменной в процессе реализации управляющей программы;

адаптивные, в которых управление осуществляется в функции от информации о текущем состоянии внешней среды и самого робота, получаемой в процессе управления от сенсорных устройств;

интеллектуальные, в которых адаптивные свойства развиты до уровня интеллектуальной деятельности.

Устройства управления могут быть индивидуальными, входящими в состав каждого робота, и групповыми, управляющими несколькими роботами. Конструктивно индивидуальные устройства управления выполняют обычно

отдельно от механической части робота (см., например, рис.3.5), либо, значительно реже, в общем корпусе (см., например, на рис. 1.6 – устройство управления в левой части основания робота).

Подавляющее большинство роботов имеет электронные устройства управления, выполненные на микропроцессорной базе. На рис. 3.35 показано та-



Рис.3.35. Устройство программного управления УКМ-772 промышленных роботов.

кое электронное устройство управления промышленных роботов. Однако существуют и неэлектрические устройства управления роботов, чаще всего реализуемые на пневмонике и предназначенные для применения в особых взрыво- и жароопасных условиях. Управлению роботами посвящена глава 5.

3.7. Особенности устройства других средств робототехники.

Как уже отмечалось, наряду с роботами в робототехнику входит ряд близких роботам технических устройств. К ним, в частности, относятся рассмотренные выше различные автоматические транспортные средства и неавтоматические манипуляторы. Одним из типов последних являются сбалансированные манипуляторы с ручным управлением, которые широко применяются на погрузочно-разгрузочных операциях. На рис.3.36 – 3.38 показаны типовые конструкции таких манипуляторов. В большинстве случаев они имеют угловую систему координат, т.е. шарнирную кинематику. В сбалансированных манипуляторах осуществляется автоматическое уравнивание (балансировка) груза аналогично тому, как это часто делается и в манипуляторах роботов.

Благодаря этому оператор с помощью рукоятки, укрепленной у хватного устройства манипулятора, без затраты усилий может перемещать взятый груз в рабочей зоне манипулятора.

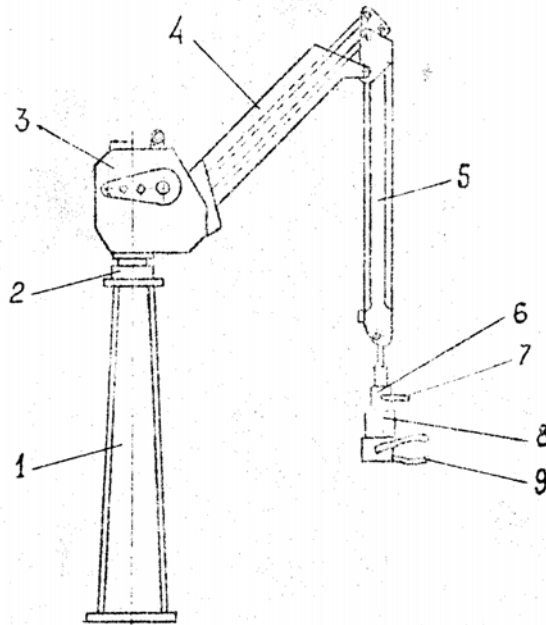


Рис.3.36. Электромеханический сбалансированный манипулятор.

Рассмотрим устройство сбалансированных манипуляторов на примере шарнирно-балансирного манипулятора грузоподъемностью 150 кг, который показан на рис.3.36. На колонке 1 поворотного устройства 2 расположена приводная головка 3 с электроприводом поворота в вертикальной плоскости звена 4. Звено 4 включает пантограф, который обеспечивает сохранение вертикального положения звена 5 при поворотах звена 4. На конце звена 5 установлены поворотная головка 6 с рукояткой управления 7, зажим 8 и закрепленное в нем сменное хватное устройство 9.

Сама рычажная система манипулятора сбалансирована с использованием пружинного устройства, расположенного в приводной головке 3. Оператор управляет манипулятором с помощью рукоятки 7. При ее повороте вверх привод перемещает хватное устройство вверх, а при повороте вниз — соответственно вниз. Скорость перемещения при этом пропорциональна углу поворота рукоятки. При нейтральном положении рукоятки груз останавливается и удерживается в этом положении. В горизонтальной плоскости манипулятор перемещается за счет мускульной силы оператора. Однако усилие здесь требуется небольшое — только на преодоление сил трения и инерции.



Рис.3.37. Пневматический сбалансированный манипулятор.

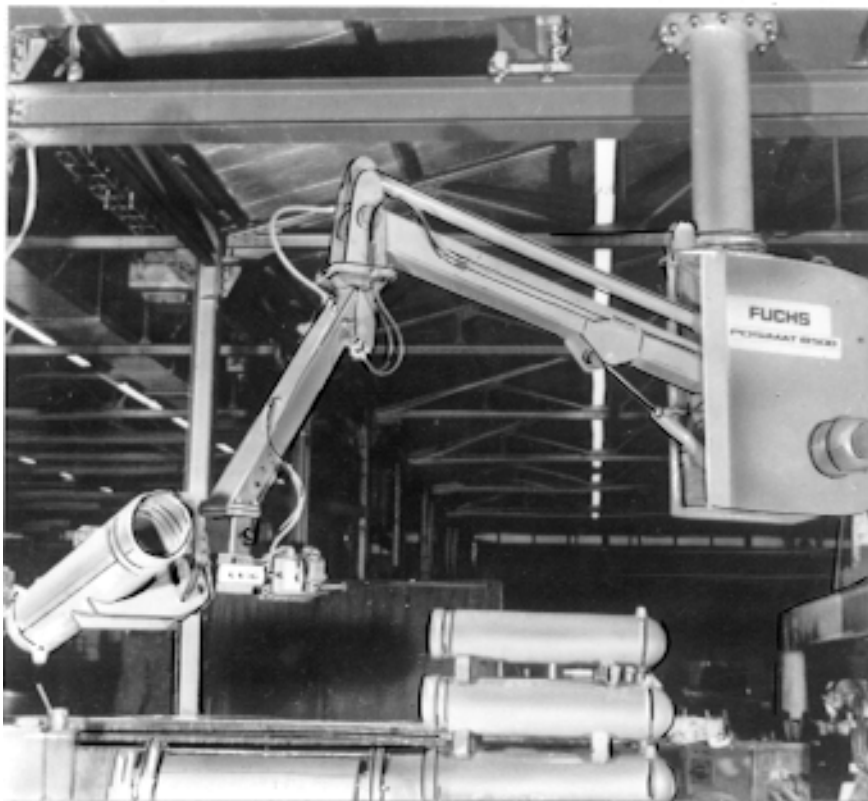


Рис.3.38. Гидравлический сбалансированный манипулятор.

Сбалансированные манипуляторы проще и дешевле роботов, их легче внедрять. Хотя они не высвобождают рабочих подобно роботам, но позволяют ликвидировать тяжелый ручной труд. Применение сбалансированных манипуляторов оправдано там, где по каким-то причинам невозможно или затруднительно использовать роботы.

Грузоподъемность выпускаемых сбалансированных манипуляторов – до 2500 кг. Наиболее тяжелые – грузоподъемностью свыше 250 кг – имеют гидравлический привод. При грузоподъемности 100-250 кг используют электропривод, при меньшей грузоподъемности (до 150 кг) сбалансированные манипуляторы снабжают обычно пневматическими приводами.

Более совершенными манипуляторами, управляемыми человеком-оператором являются копирующие манипуляторы (рис.1.4). Управление копирующим манипулятором осуществляется с помощью кинематически подобного ему задающего манипулятора, у которого вместо рабочего органа находится рукоятка. Оператор своей рукой перемещает эту рукоятку, а копирующий манипулятор при этом повторяет, копирует движения всех звеньев задающего манипулятора. Это осуществляется следящими системами по каждой его степени подвижности, состоящими из привода копирующего манипулятора и такого же как у него датчика положения, установленного на соответствующем звене задающего манипулятора. Приводы отрабатывают рассогласования этих датчиков, отслеживая таким образом конфигурацию задающего манипулятора. Более совершенным способом управления от человека-оператора является управление с помощью задающей рукоятки вместо задающего манипулятора. Оператор, смещая трехстепенную задающую рукоятку с нейтрального положения задает с помощью ее датчиков по отдельным степеням подвижности составляющие вектора перемещения или скорости для рабочего органа управляемого манипулятора. По этим данным вычислительное устройство, которым снабжена задающая рукоятка, вычисляет задания для приводов манипулятора, которые обеспечивают требуемое перемещение рабочего органа. Таким образом компактная задающая рукоятка с вычислительным устройством заменяют достаточно громоздкий задающий манипулятор в предыдущей системе управления. Аналогичным образом с помощью другой трехстепенной задающей рукоятки осуществляется управление ориентацией рабочего органа. Существуют задающие рукоятки с большим числом степеней подвижности, которые позволяют заменить две трехстепенные рукоятки одной.

Следующими еще более удобными для операторов способами управления манипуляторами является супервизорное и интерактивное управление. Эти способы применяются для управления манипуляторами, снабженными автоматическим управлением, через его устройство управления. Они будут рассмотрены позднее в главе 5 (параграф 5.3).

Описанные способы управления манипуляторами применяются и для управления системами передвижения роботов и различными видами транспортных средств, которыми занимается робототехника (см. параграф 3.4).

Глава 4. Приводы роботов

4.1. Классификация приводов

Привод, как известно, включает, прежде всего двигатель и устройство управления им. Кроме того, в состав привода могут входить различные механизмы для передачи и преобразования движения (редукторы, преобразователи вращательного движения в поступательное и наоборот), тормоз и муфта.

К приводам, применяемым в роботах, предъявляют весьма жесткие специфические требования. В связи с необходимостью встраивания приводов в исполнительные системы робота — в манипуляторы и системы передвижения габариты и масса приводов должны быть минимальными. Приводы в роботах работают в основном в неустановившихся режимах и с переменной нагрузкой. При этом переходные процессы в них должны быть практически неколебательными. Важными параметрами приводов роботов являются также надежность, стоимость, удобство эксплуатации. Требования, предъявляемые к их способу управления, быстрдействию и точности, непосредственно определяются соответствующими требованиями к роботу в целом, рассмотренными в параграфе 3.1 при классификации роботов. В частности, обычно требуется, чтобы скорость поступательного движения на выходе приводов роботов в среднем составляла от долей до нескольких м/с при погрешности отработки перемещения в долях миллиметра.

В роботах нашли применение практически все известные типы приводов: электрические, гидравлические и пневматические; с поступательным и вращательным движением; регулируемые (по положению и скорости) и нерегулируемые; замкнутые (с обратной связью) и разомкнутые; непрерывного и дискретного действия (в том числе шаговые).

На рис. 4.1 приведена типовая схема привода манипулятора. Наряду с общей обратной связью по положению в схеме имеется обратная связь по скорости, которая играет роль корректирующей гибкой обратной связи и часто, кроме того, служит для управления скоростью. В тех случаях, когда механизм M является редуктором и понижает скорость, датчик скорости ставится не как показано на ри-

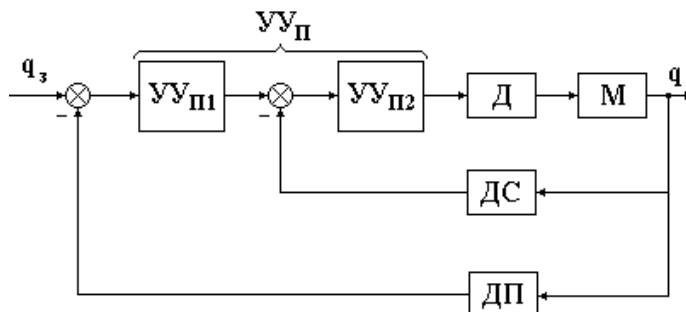


Рис. 4.1. Типовая схема приводов манипуляторов:

Д — двигатель, М — механизм передачи и преобразования перемещения, ДП, ДС — датчики положения и скорости, УУ_П, УУ_{П1}, УУ_{П2} — устройство управления и две его части

сунке, а на выходе двигателя перед механизмом, чтобы увеличить снимаемый с датчика сигнал по скорости. Устройство управления может быть непрерывного действия, релейным, импульсивным или цифровым.

Применение пневматических приводов в робототехнике объясняется их простотой, дешевизной и надежностью. Правда, эти приводы плохо управляемы и поэтому используются в основном как нерегулируемые с цикловым управлением. Пневматические приводы применяют только в роботах небольшой грузоподъемности — до 10, реже 20 кг.

Гидравлические приводы наиболее сложны и дороги по сравнению с пневматическими и электрическими. Однако при мощности 500-1000 Вт и выше они обладают наилучшими массогабаритными характеристиками и поэтому являются основным типом привода для тяжелых и сверхтяжелых роботов. Гидравлические приводы хорошо управляются, поэтому они нашли также применение в роботах средней грузоподъемности, когда требуются высококачественные динамические характеристики.

Электрический привод, несмотря на его хорошую управляемость, простоту подвода энергии, большой КИД и удобство эксплуатации имеет худшие массогабаритные характеристики, чем пневматический и гидравлический приводы. Прогрессивное увеличение в последние годы доли электромеханических роботов в общем парке роботов в мире вызвано быстрым прогрессом в создании новых типов электрических двигателей, специально предназначенных для роботов и позволяющих создавать более компактные комплектные приводы всех требуемых типов. Основная область применения электрических приводов в робототехнике на сегодняшний день — это роботы средней грузоподъемности (десятки килограмм), легкие роботы с высококачественным управлением и мобильные роботы.

Для иллюстрации сказанного на рис. 4.2 и 4.3 приведены обобщенные сравни-



Рис. 4.2. Удельная мощность электрических Э, гидравлических Г и пневматических П приводов в зависимости от их абсолютной мощности.

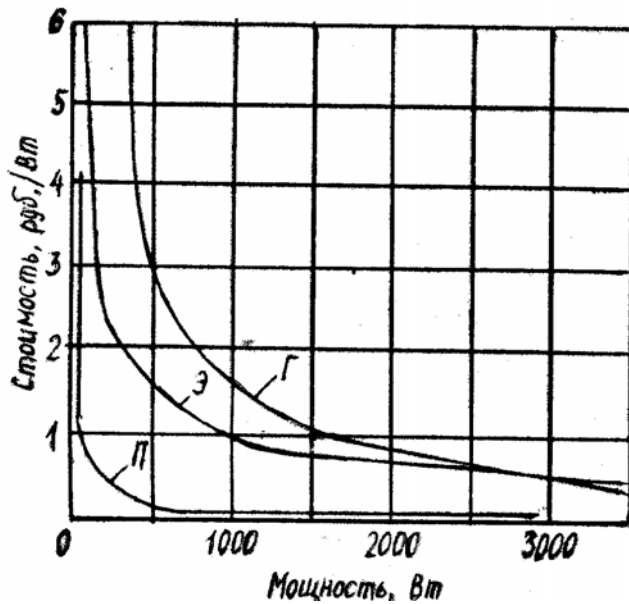


Рис.4.3. Стоимость электрических Э, гидравлических Г и пневматических П приводов в зависимости от их мощности.

сунке, а на выходе двигателя перед механизмом, чтобы увеличить снимаемый с датчика сигнал по скорости. Устройство управления может быть непрерывного действия, релейным, импульсивным или цифровым.

Применение пневматических приводов в робототехнике объясняется их простотой, дешевизной и надежностью. правда, эти приводы плохо управляемы и поэтому используются в основном как нерегулируемые с цикловым управлением. Пневматические приводы применяют только в роботах небольшой грузоподъемности — до 10, реже 20 кг.

Гидравлические приводы наиболее сложны и дороги по сравнению с пневматическими и электрическими. Однако при мощности 500–1000 Вт и выше они обладают наилучшими массогабаритными характеристиками и поэтому являются основным типом привода для тяжелых и сверхтяжелых роботов. Гидравлические приводы хорошо управляются, поэтому они нашли также применение в роботах средней грузоподъемности, когда требуются высококачественные динамические характеристики.

Электрический привод, несмотря на его хорошую управляемость, простоту подвода энергии, большой КИД и удобство эксплуатации имеет худшие массогабаритные характеристики, чем пневматический и гидравлический приводы. Прогрессивное увеличение в последние годы доли электромеханических роботов в общем парке роботов в мире вызвано быстрым прогрессом в создании новых типов электрических двигателей, специально предназначенных для роботов и позволяющих создавать более компактные комплекты приводов всех требуемых типов. Основная область применения электрических приводов в робототехнике на сегодняшний день — это роботы средней грузоподъемности (десятки килограмм), легкие роботы с высококачественным управлением и мобильные роботы.

Для иллюстрации сказанного на рис. 4.2 и 4.3 приведены обобщенные сравнительные характеристики различных типов приводов по удельной мощности и стоимости. При расчете удельной мощности пневмоприводов учитывалась масса аппаратуры подготовки воздуха (см. параграф 4.2), а гидроприводов — масса гидростанции (см. параграф 4.3), которые входят в конструкцию роботов.

4.2 Пневматические приводы.

В пневмопривод одной степени подвижности входят двигатель, распределительное устройство и регулятор скорости. Двигатель может быть поступательного движения — пневмоцилиндр и поворотный. Пневмоцилиндр состоит из гильзы, выполненной из прецизионной трубы обычно с фторопластовой накладкой внутри, поршня с уплотнением, которое имеет малое трение по фторопласту, и штока. К пневмоцилиндру часто пристроен тормоз, включающийся в конце хода поршня. Поршень со штоком, который присоединен к нагрузке двигателя, движется под действием сжатого воздуха, подаваемого в полость цилиндра с одной стороны поршня. Полость, расположенная с другой стороны поршня, соединяется с атмосферой для выпуска воздуха, сжимаемого движущимся поршнем. Направление движения поршня со штоком зависит от того, с какой стороны от поршня подается сжатый воздух.

Поворотные пневматические двигатели, применяемые в роботах, имеют ограниченный угол поворота (неполноповоротные двигатели). Их подвижная часть представляет собой лопасть, укрепленную на выходном валу и расположенную в кольцеобразном корпусе. Внутри корпуса имеется перегородка, с двух сторон которой получаются полости для воздуха, разделенные подвижной лопастью. Существуют также поворотные пневматические двигатели, состоящие из пневмоцилиндров и механической передачи типа рейка-шестерня, которая преобразует поступательное движение рейки в поворот шестерни.

Распределительное устройство пневмопривода служит для управления подачей воздуха в двигатель. Выполняют его из золотников или клапанов обычно с электромагнитным приводом, управляющие сигналы на которые поступают от устройства управления робота.

Регулятор скорости привода поддерживает заданную скорость его движения путем стабилизации расхода воздуха, подаваемого в двигатель (например, с помощью дросселя с обратным клапаном).

Пневматические двигатели работают на сжатом воздухе давлением 0,3-0,6 МПа. Сжатый воздух поступает на приводы от общего блока питания, который состоит из аппаратуры подготовки воздуха и редуктора. Подготовка воздуха заключается в его очистке от влаги и механических примесей и внесении распыленного масла для смазки трущихся поверхностей в двигателе. Редуктор обеспечивает поддержание определенного давления воздуха на входе привода.

Сжатый воздух на вход блока питания поступает обычно из общей пневмосети, в которую он подается от компрессора (компрессорной станции). В мобильных роботах воздух поступает от баллонов, где он находится под

повышенным давлением.

Как было указано, в настоящее время подавляющее большинство пневмоприводов роботов имеют простейшее цикловое управление (по упорам). При таком управлении привод перемещается из начального положения сразу в конечное, которое определяется механическим упором, установленным на подвижной части привода (на штоке пневмоцилиндра или выходном валу поворотного двигателя). Упор находит на демпфер, с помощью которого осуществляются гашение энергии движения и безударное торможение привода. Одновременно с этим прекращается подача воздуха в двигатель. Демпферы применяют в основном гидравлические, а для маломощных приводов — более простые пружинные. Прибегают также к способу торможения противодавлением, при котором демпфер не требуется, а торможение происходит за счет переключения подачи воздуха в момент торможения из одной полости двигателя в другую, выхлопную полость, т. е. встречно движению поршня (или лопасти в поворотном двигателе).

Программирование перемещения осуществляется перестановкой упора. Благодаря тому, что конечное положение двигателя определяется механическим упором, приводы с цикловым управлением имеют значительно более высокую точность, чем при обычном позиционном управлении с обратной связью по положению (погрешность менее 0,1 мм), повышенное быстродействие (скорость перемещения несколько метров в секунду).

Разработаны конструкции пневмоприводов с несколькими выдвигными упорами, которые последовательно по программе выставляются на пути упора, укрепленного на подвижной части двигателя. В результате осуществляются торможение и позиционирование привода в промежуточных точках, определяемых положением этих выдвигных упоров. Такой способ позиционирования может быть реализован, например, с помощью размещенного вдоль пневмоцилиндра барабана с упорами. Упоры расположены по длине барабана со смещением относительно друг друга по углу в плоскости, перпендикулярной оси барабана, как бы по винтовой линии. В результате при повороте барабана на пути упора, перемещающегося со штоком двигателя, последовательно оказываются упоры барабана от первого до последнего. Движение барабана, естественно, должно быть синхронизировано с движением штока двигателя. Существуют также конструкции подобных приводов с выдвигными упорами, снабженными индивидуальными приводами. Минимальная дискретность при программировании точек позиционирования пневмоприводов и, соответственно, наибольшее число таких точек на заданном пути ограничены величиной пути торможения, который при скорости порядка 1 м/с может достигать 100 мм. Для повышения точности позиционирования в промежуточных точках пневмоприводы снабжают тормозом (обычно электромагнитным).

Принципиально возможное позиционирование пневмоприводов с помощью позиционного управления с обратной связью по положению из-за сжимаемости воздуха имеет значительно худшую точность, чем при использовании упоров. Пока в мире созданы всего несколько марок пневматических промышленных роботов с

таким позиционным управлением.

Другим вариантом дискретного позиционного пневмопривода является дискретный привод, состоящий из последовательно соединенных цикловых пневмоприводов с различающимися вдвое значениями перемещения. Включая эти цикловые приводы в разной комбинации, можно получать соответственно разное суммарное перемещение из конечного числа его дискретных значений. Например, три таких привода дают в совокупности 8 точек позиционирования; четыре привода — 16 точек и т. д.

На рис. 4.4 показан один из первых отечественных серийных пневматических

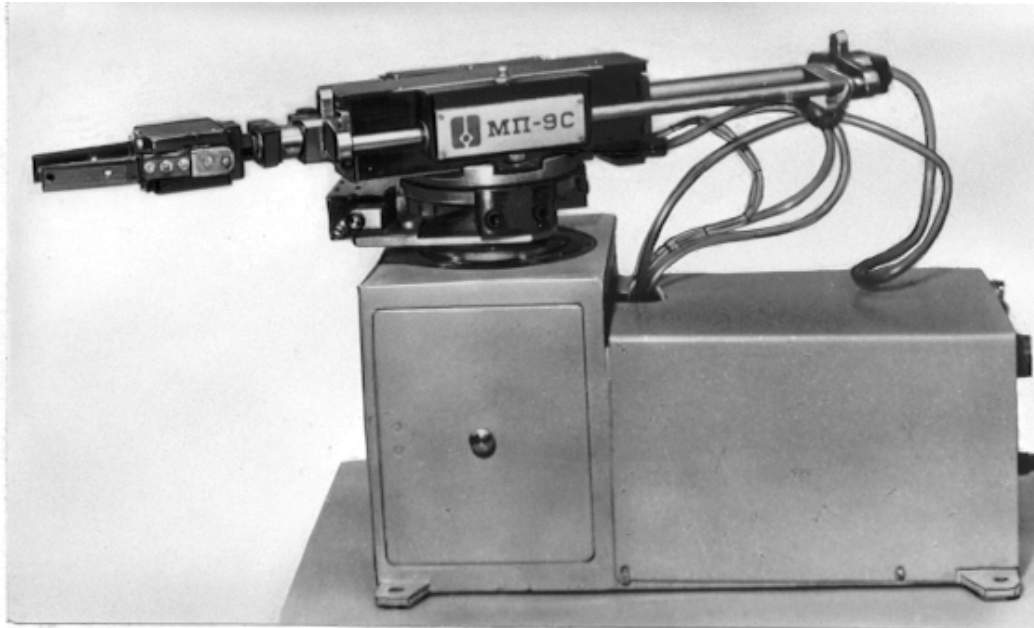


Рис. 4.4. Пневматический промышленный робот МП-9

промышленных роботов МП-9С (разработчик — ЦНИИ РТК, производитель — АвтоВАЗ). Робот получил широкое применение на сборочных операциях и для обслуживания прессов. На рис. 4.5 приведена его кинематическая схема. Механизм подъема манипулятора размещен в стальном сварном корпусе 1 и приводится в действие пневмоцилиндром 11, гильза которого жестко связана с корпусом 1, а шток через кронштейн 10 — с втулкой 6. При подаче сжатого воздуха в нижнюю

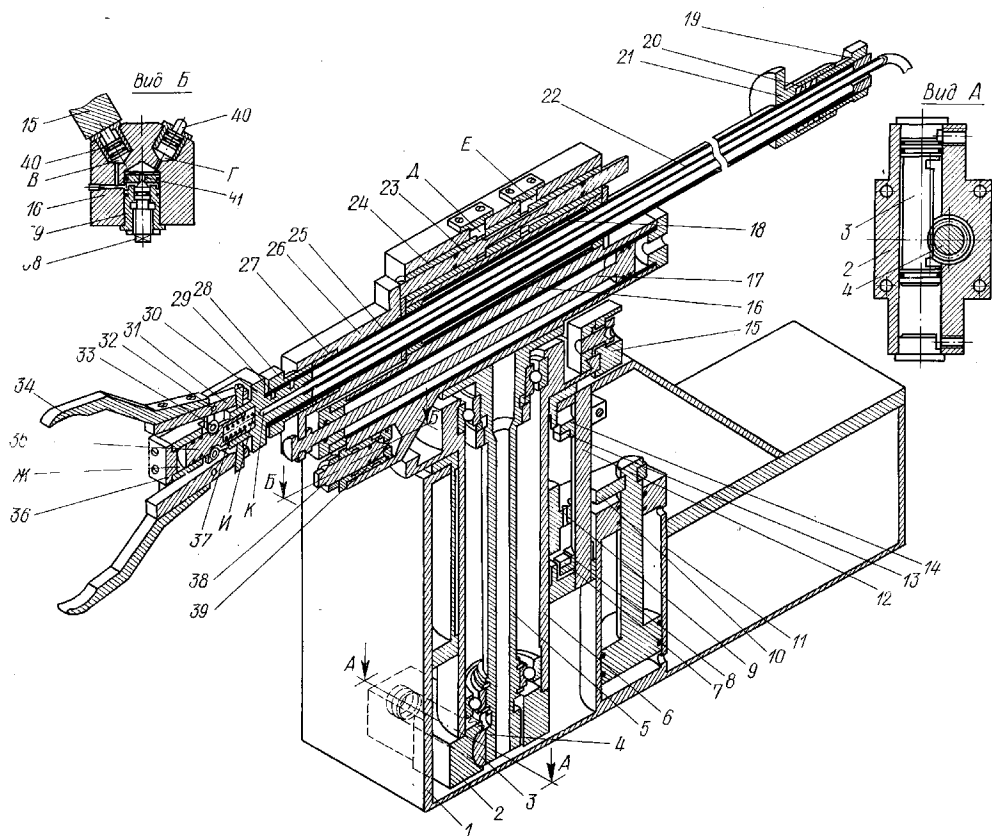


Рис. 4.5. Кинематическая схема промышленного робота МП-9С

или верхнюю полость пневмоцилиндра 11 втулка 6 поднимается или соответственно опускается вместе с валом 5 и установленным на нем механизмом выдвижения охвата. От поворота втулка 6 удерживается направляющей 12, входящей в паз кронштейна 10.

Ход и точки позиционирования втулки 6 определяются соответствующей фиксацией перемещающихся по направляющей 12 упоров 8 и 14. Так как ход вертикального перемещения манипулятора сравнительно мал (30 мм), демпфирования в концах хода для этого перемещения не производится. Для подачи в устройство управления сигнала о достижении конечных положений манипулятора в кронштейне 10 установлен постоянный магнит 9, а на упорах 8 и 14 — датчики 7 и 13 с магнитоуправляемыми герметичными контактами (КЭМ-2А), срабатывающие в момент, когда кронштейн 10 касается упоров 8 и 14.

Механизм поворота манипулятора выполнен в виде реечной пары и состоит из корпуса 2 сдвоенного пневмоцилиндра, поршня-рейки 3 и шестерни 4. Корпус 2 прикреплен к втулке 6, а шестерня 4 жестко связана с вертикальным валом 5, к верхнему фланцу которого прикреплен механизм выдвижения охвата.

Диапазон поворота манипулятора регулируется перемещением двух жестких упоров 15 по верхнему фланцу втулки 6. В отличие от механизма подъема механизм поворота выполнен с демпфированием в концах хода. Это достигается за счет сообщающихся через дроссельное отверстие 41 во втулке 39

полостей В и Г в корпусе 16, заполненных маслом и закрытых поршнями 40, штоки которых в конце поворота манипулятора контактируют с упорами 15. Из одной полости в другую масло перетекает через дроссельное отверстие 41 во втулке 39. Дросселирование (степень торможения) регулируется винтом 38.

Как и в механизме подъема манипулятора для подачи сигнала в устройство управления в концах поворота манипулятора на упорах 15 установлены датчики с магнитоуправляемыми герметичными контактами, а в корпус 16 встроены постоянные магниты.

Механизм выдвижения охвата состоит из стального корпуса 16, в который встроены пневмоцилиндр выдвижения со штоком 17. Выдвижение схвата составляет 150 мм. Кроме того, на корпусе закреплены направляющая гильза 18 и гильза 24 демпфера. По направляющей гильзе 18 перемещается труба 25, на которой закреплен схват манипулятора. На трубе 25 имеются корпуса упоров 21 и 26, определяющих выдвижение схвата и фиксирующихся на трубе 25 сжатием колец 20, 27 и гайками 19 и 28. На корпусе упора 26 закреплен шток 17 пневмоцилиндра выдвижения.

Демпфирование в конце хода выдвижения и втягивания схвата осуществляется следующим образом. В гильзе 24 находится плунжер 23 с конической шейкой в средней части. В корпусе 16 выполнены полости Д и Е, заполненные маслом. При нажатии упора 21 на правый конец плунжера 23 при выдвижении охвата плунжер 23 также перемещается. При этом объем полости Е уменьшится, а объем полости Д увеличится, вследствие чего масло начнет перетекать из полости Е в полость Д. Однако по мере перемещения плунжера 23 кольцевой зазор между конической частью плунжера и гильзой 24 демпфера постепенно уменьшается и масло дросселируется, поглощая кинетическую энергию выдвижения схвата. При втягивании схвата демпфер работает аналогично.

К упорам 21 и 26 прикреплены постоянные магниты, а к корпусу 16 — датчики с магнитоуправляемыми контактами, дающие сигналы в устройство управления в концах хода выдвижения или втягивания схвата.

Как указано выше, манипулятор робота МП-9С комплектуют двумя схватами. На кинематической схеме представлен вариант схвата для взятия и удержания деталей за наружную поверхность. Схват состоит из корпуса 30, прикрепляемого винтами 29 к трубе 25, и поршня 35 с выточкой в средней части, в которую заходят ролики 33 коромысел 31. К коромыслам 31 крепятся сменные пальцы 34. При подаче сжатого воздуха по трубке 22 по каналу К в полость Ж поршень движется вправо, увлекая за собой ролики 33. При этом коромысла 31 поворачиваются на осях 32 так, что пальцы 34 смыкаются и зажимают деталь. При сбросе давления воздуха в полости Ж раскрытие пальцев схвата происходит под действием возвратной пружины 37.

Если поршень 35 развернуть на 180° так, чтобы пружина 37 упиралась в крышку 36, и сменить пальцы 34, то, подавая воздух в полость И, можно захватывать полые детали за внутреннюю поверхность.

Пневматическая схема робота МП-9С представлена на рис.4.6. Воздух из магистра-

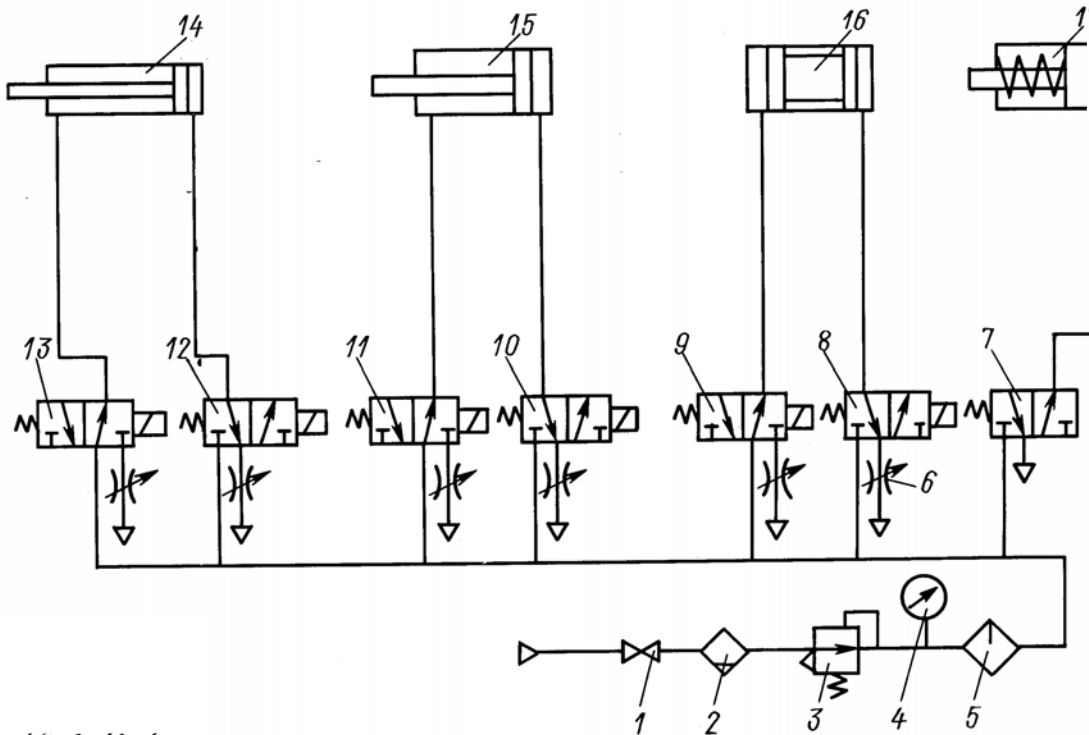


Рис. 4.6. Пневматическая схема промышленного робота МП-9

ли через запорный муфтовый вентиль 1, влагоотделитель 2, регулятор давления 3 и маслораспылитель 5 поступает к электропневматическим нормально закрытым клапанам 7—13. Давление в системе контролируется с помощью технического манометра 4. При включении клапана 7 воздух поступает в пневмоцилиндр 7 схвата. Пальцы схвата сближаются и зажимают деталь. При отключении клапана 7 воздух из пневмоцилиндра 17 стравливается в атмосферу и поршень под действием пружины возвращается в исходное положение. При включении клапанов 8, 10, 12 воздух поступает соответственно к пневмоцилиндрам поворота манипулятора 16, подъема манипулятора 15, выдвижения захватного устройства 14, а через клапаны 9, 11, 13 и дроссели 6 стравливается в атмосферу. С помощью дросселей 6 регулируется скорость поршней пневмоцилиндров и, соответственно, звеньев манипуляторов.

Устройство управления робота МП-9С выполнено, как уже было указано, в виде отдельной стойки и состоит из двух частей. В нижней части расположены блок подготовки воздуха и электроуправляемые воздухораспределители. На боковую поверхность стойки выведены штуцеры для подсоединения к пневмоцилиндрам манипулятора. Верхняя часть содержит электронные блоки и лицевую панель устройства. На лицевой панели (рис. 4.7) расположены элементы ручного управления приводами робота и ряд плоских многопозиционных переключателей, на которых набирается программа рабочего цикла робота и технологического оборудования. С помощью кнопок “Пуск” и “Стоп” производятся запуск и остановка манипулятора в автоматическом режиме. Кнопка “Автомат-Наладка” предназначена для включения соответствующего режима рабо-

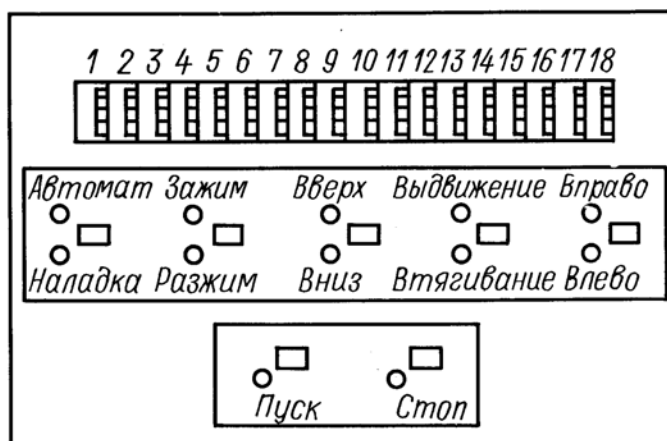


Рис. 4.7. Лицевая панель устройства управления промышленного робота МП-9С

ты. Остальные кнопки служат для ручного управления приводами манипулятора в режиме “Наладка”:

кнопка “Зажим-Разжим” — соответственно для сжатия и разжима пальцев схвата;

кнопка “Вверх-Вниз” — для подъема и опускания манипулятора;

кнопка “Выдвижение-Втягивание” — для выдвижения и втягивания схвата;

кнопка “Вправо-Влево” — для включения поворота манипулятора вокруг вертикальной оси.

Кнопки снабжены сигнальными лампочками, высвечивающими заданные команды во всех режимах работы приводов манипулятора. На многопозиционных переключателях, показанных на рис. 4.7 сверху, набирается программа работы робота и другого работающего с ним оборудования. Каждая позиция переключателя соответствует одной команде на перемещение какого-либо одного звена манипулятора или одной команде на включение внешнего технологического оборудования. В данном устройстве управления применены десятипозиционные переключатели, позиции которых соответствуют следующим командам: конец цикла (программы); выдвижение схвата; втягивание схвата; поворот манипулятора вправо; поворот манипулятора влево; подъем манипулятора; опускание манипулятора; зажим пальцев схвата; разжим пальцев схвата; пуск технологического оборудования.

На рис. 4.8 показан пример пневматического робота большей грузоподъемности.

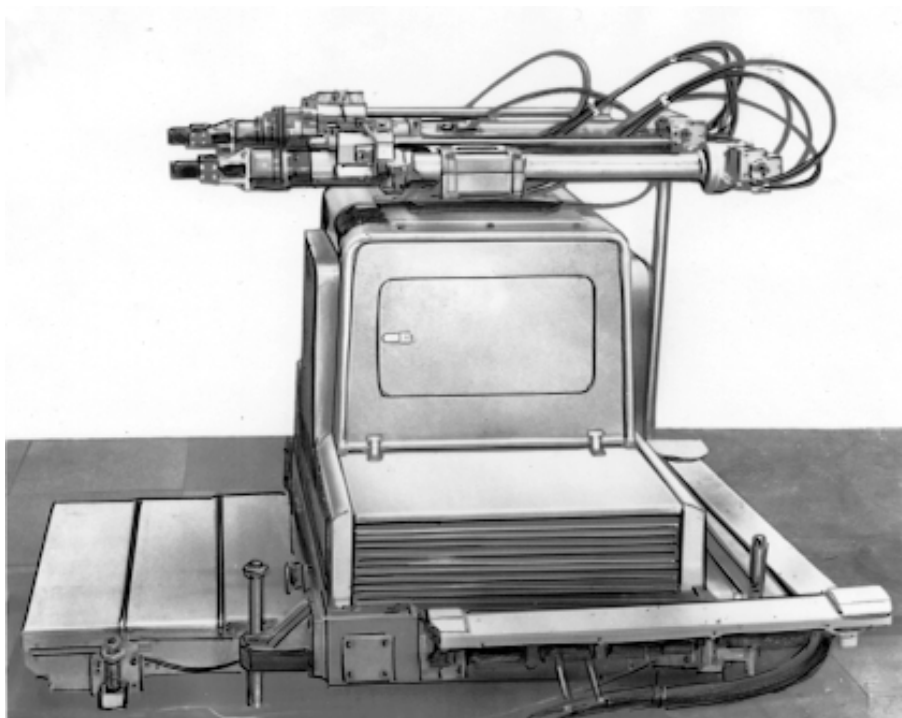


Рис. 4.8. Пневматический промышленный робот “Циклон 5” грузоподъемностью 5 кг

4.3. Гидравлические приводы

Как было указано в параграфе 4.1, гидроприводы нашли основное применение в тяжелых и сверхтяжелых роботах, а также в роботах средней грузоподъемности, когда требуется особо качественное управление. Гидропривод состоит из тех же основных частей, что и пневмопривод. Основой его является двигатель поступательного движения (гидроцилиндр) или углового движения (поворотный гидродвигатель), которые устроены подобно аналогичным пневматическим двигателям, только вместо сжатого воздуха в них используется жидкость (обычно масло) под давлением до 20 МПа. Соответственно создается и на два порядка большее усилие. Несжимаемость жидкости обеспечивает гидроприводу значительно лучшие динамические и точностные характеристики по сравнению с пневмоприводом.

Управление гидравлическими двигателями осуществляется с помощью золотников и клапанов, которые в свою очередь имеют обычно электрическое управление, т. е. представляют собой электрогидравлические усилители (ЭГУ). Гидроприводы чаще всего выполняют с непрерывным управлением.

В отличие от пневмоприводов гидроприводы имеют свой блок питания, входящий в состав робота. Этот блок состоит из гидронасоса, фильтра, регулятора давления, устройства охлаждения (обычно водяного) и масляного аккумулятора с запасом масла.

На рис. 4.9 показан гидравлический промышленный робот, предназначенный

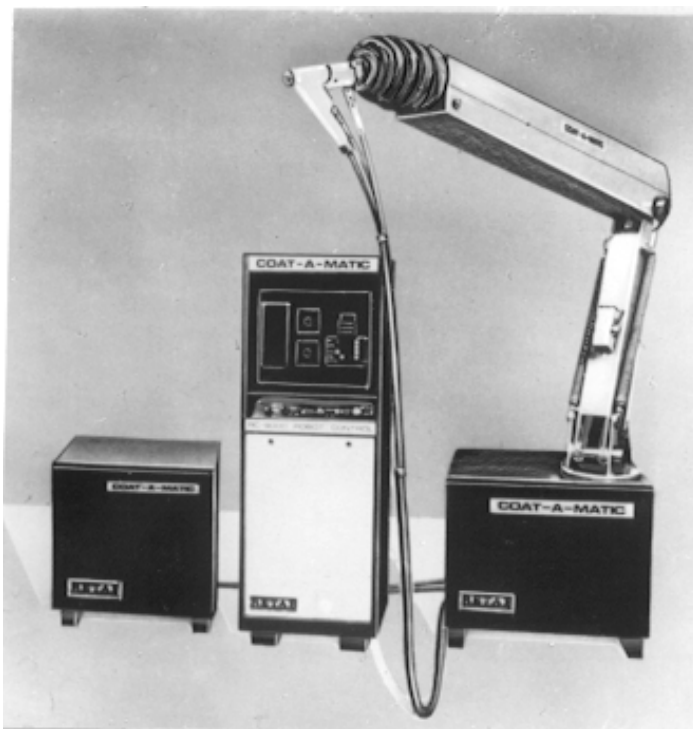


Рис. 4.9. Гидравлический промышленный робот с непрерывным управлением “Коат-а-Матик” фирмы “Ретаб” (Швеция)

для нанесения покрытий, сварки и зачистки. Показанный на рис.4.9 робот имеет в качестве рабочего органа краскораспылитель. Робот состоит из трех частей — манипулятора, насосной станции и устройства управления (в центре). Манипулятор, кинематическая схема которого представлена на рис. 4.10, имеет шесть степеней подвижности в угловой системе координат. Звенья манипулятора уравновешены с помощью пружин. Это позволяет оператору легко перемещать манипулятор вручную за две рукоятки у рабочего органа, осуществляя программирование робота методом обучения. Рычаг 10 позволяет расфиксировать вилку 24 относительно стойки 8 в вертикальном направлении. В результате штоки 23 и 26 в гидроцилиндрах 21 и 9 не создают сопротивления при перемещении манипулятора в процессе обучения.

Механизм поворота манипулятора относительно вертикальной оси размещен в станине 22 манипулятора. Двигателем служит гидроцилиндр 18, гильза которого шарнирно соединена со станиной 22, а шток 19 — с кривошипом 77. Кривошип 77 прикреплен к вертикальному валу, заканчивающемуся в верхней части планшайбой 16.

Механизм качания манипулятора в плече выполнен в виде параллелограмма, состоящего из силовой стойки 8 и тяг 25, шарнирно связанных снизу кронштейном 20, а сверху — щеками 27. Двигателем является гидроцилиндр 21, гильза которого шарнирно прикреплена к кронштейну 20, а шток — к вилке 24. Как указано выше, вилка 24 при работе в автоматическом режиме жестко связана со стойкой 8, а в режиме обучения расфиксируется с помощью рычага 10.

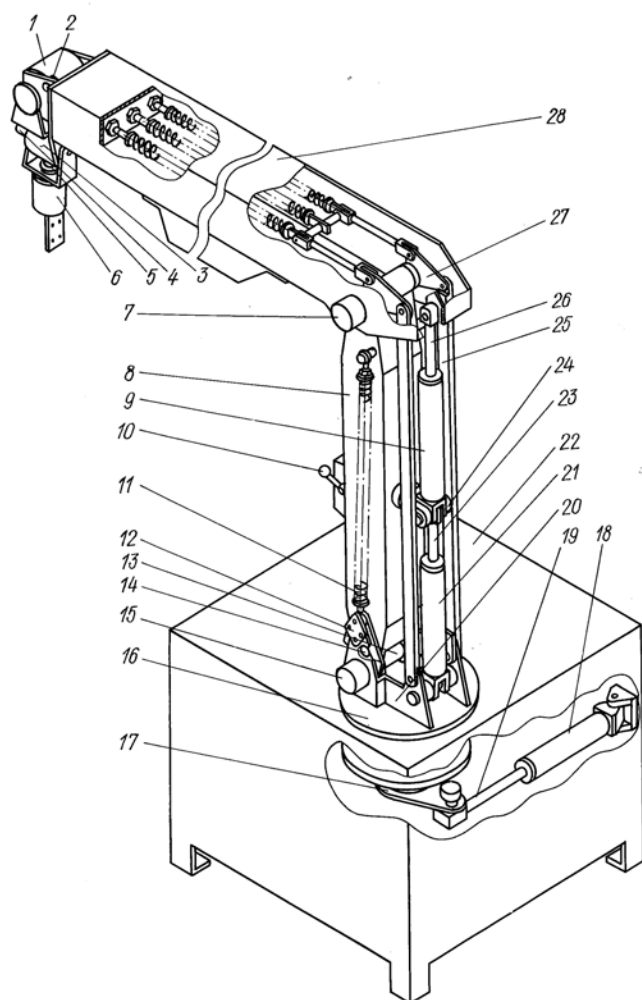


Рис. 4.10. Кинематическая схема робота “Коат-а-Матик”

Уравновешивание осуществляется пружинами 11, один конец которых с помощью серьги 12 прикреплен к кронштейну 20 эксцентрично относительно оси 13, а второй конец связан со стойкой 8. Серьга 12 снизу заканчивается вилкой, в которую входит штырь 14, связанный со стойкой 8. В зависимости от угла поворота стойки штырь отклоняет серьгу 12, уменьшая или увеличивая плечо пружины 11 относительно оси штыря 14. Потенциометр 15 является датчиком обратной связи.

Механизм качания в локте состоит из гидроцилиндра 9, гильза которого через вилку 24 связана со стойкой 8, а шток 26 — со звеном 28. Уравновешивающие пружины 11 закреплены эксцентрично относительно оси качания звена 28. Потенциометр 7 обеспечивает обратную связь для устройства управления. Ориентирующие степени подвижности выполнены в виде двух качательных пар и одной вращательной. Качательные пары выполнены на базе гидродвигателей 1 и 3, размещенных в соответствующих корпусных вилках. Датчиками обратной связи служат потенциометры 2 и 4.

Гидродвигатель 6, к выходному валу которого прикреплен держатель

распылительной головки, играет роль вращательной степени подвижности. Датчиком обратной связи служит потенциометр 5.

Гидравлическая схема робота представлена на рис.4.11. Насосом 8 масло через

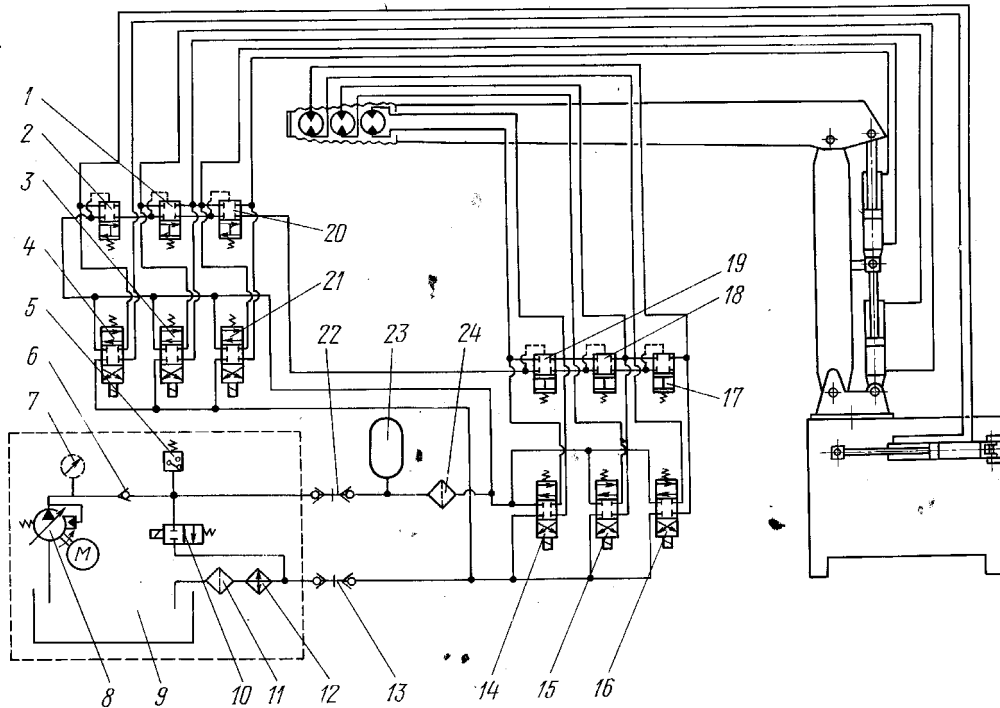


Рис. 4.11. Гидравлическая схема робота “Коат-а-Матик”

обратный клапан 6 нагнетается в ресивер 23 и через фильтр высокого давления 24 попадает в напорную магистраль. Заданное давление масла поддерживается клапаном 10, управляемым реле давления 5, и контролируется по манометру 7. В случае аварийного падения давления масла в гидросистеме реле давления 5 отключает манипулятор. Из гидросистемы масло сливается в бак 9 через теплообменник 12 и фильтр 11. Насосная станция, выполненная в отдельном корпусе, соединяется с блоками распределителей, размещенными в станине, с помощью шлангов с быстроразъемными муфтами 13 и 22.

Каждый из приводов робота управляется соответствующим распределителем 3, 4, 14, 15, 16, 21. Переливные клапаны 1, 2, 17—20 при неработающем масляном насосе соединяют противоположные полости гидроцилиндров и гидродвигателей и позволяют перемещать рабочий орган в режиме обучения. При включении насоса под давлением масла клапаны переключаются и соединяют двигатели с соответствующими распределителями. В устройстве управления управляющие программы записываются на магнитном диске — для каждого привода на отдельной дорожке.

4.4. Электрические приводы

В промышленных роботах нашли применение электроприводы следующих типов: на двигателях постоянного тока традиционных коллекторных и бесколлекторных (вентильных);

на асинхронных двигателях как нерегулируемых (с цикловым управлением), так и с частотным управлением;

на шаговых двигателях;

на различного типа регулируемых муфтах в сочетании с нерегулируемым асинхронным двигателем или двигателем постоянного тока;

на электромагнитах (соленоидных и других типов).

В основном применяют электроприводы с традиционным угловым перемещением, т. е. вращающиеся. Однако в роботах с поступательными перемещениями наряду с вращающимися двигателями в комбинации с механизмами, преобразующими вращательное движение в поступательное (типа передачи шестерня-рейка и т. п.) нашли применение специальные линейные приводы постоянного и переменного тока.

Электроприводы для роботов в общем случае включают электродвигатель, снабженный датчиками обратной связи по положению и скорости, механическую передачу, часто тормоз, иногда муфту (например, для защиты двигателя от перегрузки) и устройство управления.

Примеры электромеханических промышленных роботов были приведены на рис.3.6 и 3.8 в главе 3.

На рис. 4.12 показан внешний вид электромеханического промышленного робота ИРб-6, устройство которого приведено на рис.3.6. Устройство управления робота вы-

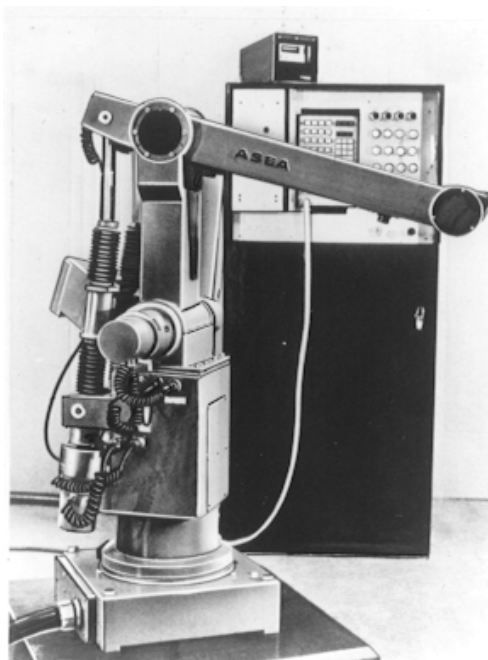


Рис. 4.12. Электромеханический промышленный робот ИРб-6 фирмы АСЕА (Швеция)

полнено на микро-ЭВМ с записью управляющих программ на магнитной ленте. Программирование — обучением с помощью переносного пульта. Робот может функционировать в режимах непрерывного и дискретного позиционного управления и комплектоваться различными сенсорными системами, включая систему технического зрения и силовой моментный сенсор. Благодаря своим широким функциональным возможностям ИРБ-6 нашел применение как универсальный робот на многих основных технологических операциях (дуговая и точечная сварка, механическая сборка, очистка отливок) и для обслуживания станков и другого технологического оборудования прежде всего в автомобильной промышленности.

4.5. Комбинированные приводы

Стремление максимально использовать и объединить достоинства отдельных типов приводов, а также скомпенсировать их недостатки привело к разработке и применению в роботах различных комбинированных приводов.

На рис. 4.13 показана схема комбинированного пневмогидравлического привода,

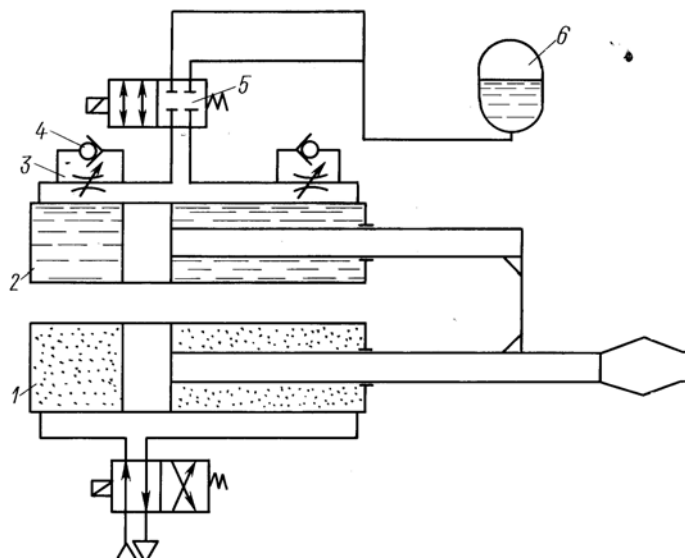


Рис. 4.13. Схема пневмогидравлического привода

в котором гидроцилиндр, действующий параллельно основному исполнительному пневмоцилиндру, обеспечивает коррекцию скорости выходного звена и его конечного положения.

Воздух под давлением поступает из магистрали в одну из полостей пневмоцилиндра 1 через пневмораспределитель 7. В результате происходит перемещение поршня со штоком, скорость которого определяется настройкой гидроросселей 3. (При этом гидрораспределитель 5 находится в правом положении, соединяя обе полости гидроцилиндра.) Обратные клапаны 4 обеспечивают свободный

доступ жидкости в заполняемую полость гидроцилиндра 2. Для компенсации разности объемов полостей гидроцилиндра и пополнения утечек масла в схеме предусмотрен масляный аккумулятор 6. Гидрораспределитель 5 может выполнять роль гидрозамка, фиксирующего положение манипулятора. Если в качестве дросселей 3 применить дроссели с пропорциональным электрическим управлением, то рассматриваемый привод при наличии обратной связи по положению можно использовать в работах с позиционным управлением. Существуют аналогичные пневмоэлектрические приводы, в которых вместо гидропривода применен электропривод.

На рис. 4.14 приведена принципиальная схема гидропневматического привода.

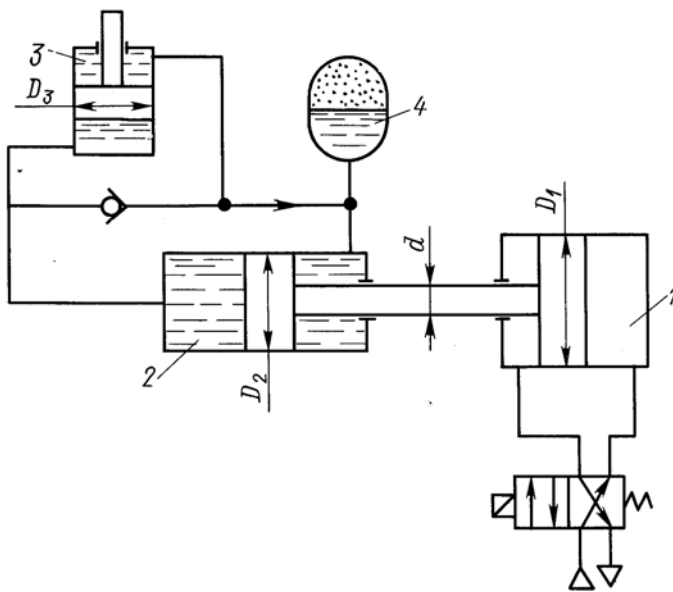


Рис. 4.14. Схема гидропневматического привода

Введение здесь пневмоцилиндра перед основным исполнительным гидроцилиндром позволяет отказаться от гидронасосной станции. При подаче воздуха в поршневую полость пневмоцилиндра 1 создается давление в поршневой полости гидроцилиндра 2 и жидкость из нее поступает в исполнительный гидроцилиндр 3. В результате поршень его перемещается, обеспечивая движение манипулятора. При движении поршня пневмоцилиндра в обратном направлении соответственно изменяется направление движения поршней в гидроцилиндрах 2 и 3. Емкость 4 служит для компенсации разности объемов полостей цилиндра, а также утечки жидкости.

Широкое применение нашли комбинированные гидроэлектрические приводы, в которых последовательно соединены маломощный электрический и выходной гидравлический приводы. Электропривод преобразует входной электрический сигнал в перемещение, которое служит входным воздействием для гидроусилителя гидропривода. Электрический привод может быть замкнутым следящим или разомкнутым на базе шагового двигателя.

4.6. Рекуперация энергии в приводах

Приводы роботов работают в основном в переходных циклических режимах типа разгон-торможение. Поэтому одним из важных способов экономии энергии у них может служить использование идеи рекуперации энергии. Это наиболее важно для мобильных роботов с автономным энергопитанием. Кроме того, при этом часто повышается и быстродействие. Рекуперация энергии основана на ее запасании в процессе торможения и отдачи при последующем разгоне. Существуют два основных способа такого запасаения энергии: запасаение механической энергии с помощью маховиков, пружин и т. п. и электрической — в аккумуляторах, конденсаторах, индуктивных катушках и т. п.

Принцип рекуперации механической энергии с помощью пружин получил применение в отечественных цикловых промышленных роботах, которые благодаря этому не имеют аналогов в мире по своим энергетическим характеристикам. В цикловой привод, который совершает запрограммированное движение из одного крайнего положения в другое, введена пружина. Она растягивается при движении привода из среднего положения в одном направлении и сжимается при движении в другом. При этом привод совершает циклическое движение в режиме резонансных незатухающих колебаний с нулевой скоростью в крайних точках. Двигатель привода осуществляет только подпитку энергией пружины в середине пути при максимальной скорости движения, восполняя потери энергии на выполняемую приводом работу. При этом в конечной точке движения не происходит удара об упор с бесполезным рассеянием накопленной приводом кинетической энергии. В результате в 3-4 раза снижается энергопотребление и соответственно может быть уменьшена мощность двигателя в приводе [7]. Аналогичный эффект можно получить в приводах захватных устройств манипуляторов [8].

На рис. 4.15 приведена схема электрического привода с рекуперацией электрической энергии [9]. Энергия, которая возвращается в источники в режиме рекуперативного торможения, запасается в индуктивности L . Ключи K_2 , K_4 предназначены для реверсного управления двигателем от двухполюсного источника E_1 , E_2 , а ключи K_1 , K_3 , K_5 , K_6 — для осуществления режима рекуперации. В режиме движения под действием двигателя D ключи K_1 и K_4 замкнуты, а ключи K_3 и K_5 разомкнуты. Режим рекуперации включается при торможении, когда знаки производной от заданной скорости и скорости двигателя разные. Для этого устройство управления размыкает ключи K_1 и K_6 , замыкает K_3 , K_5 и инвертирует K_2 и K_4 . Аналогичные схемы разработаны с использованием в качестве накопителей энергии конденсаторов.