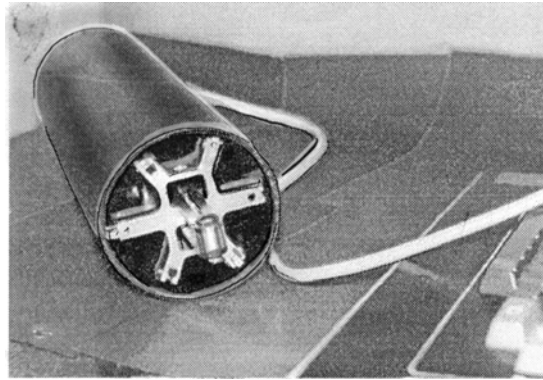


а)



б)

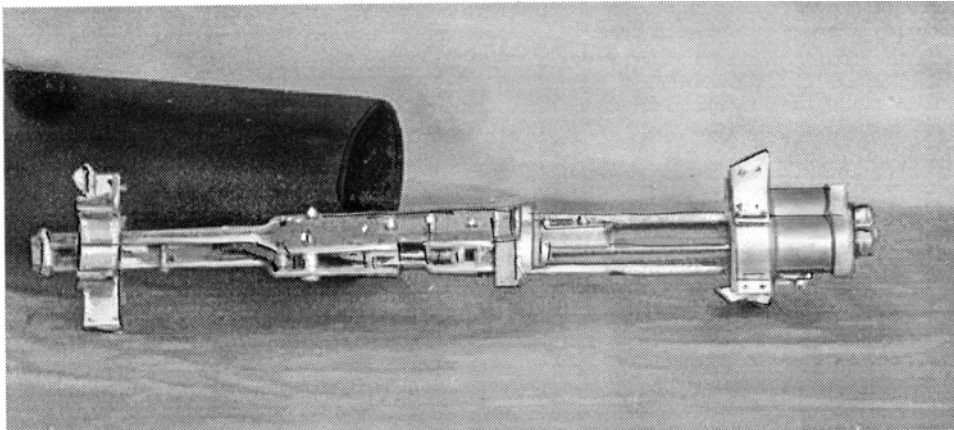


Рис.3.20. Робот «Трубоблаз» для обследования трубопроводов в трубе (а) и вне (б). Передвижение осуществляется подобно гусеницы путем поочередного закрепления концов корпуса и сокращения его длины на основе эффекта памяти формы (ЦНИИ РТК).

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.

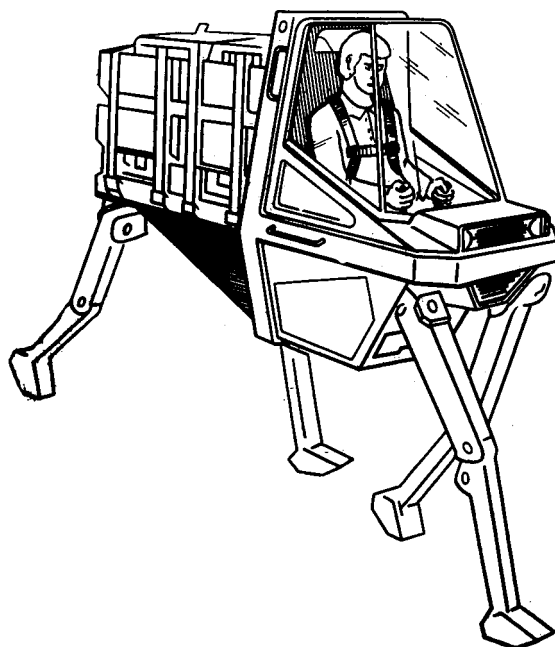


Рис.3.22. Четырехногий транспортный робот для внутрицеховых работ.

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-

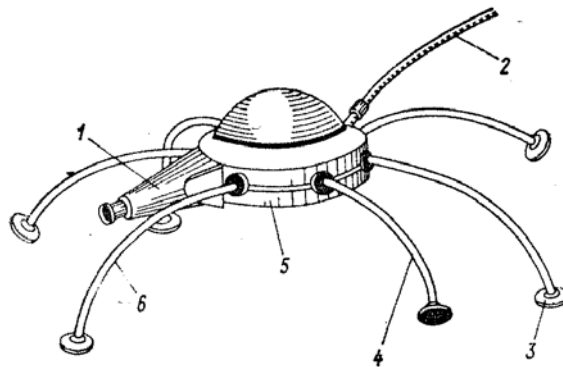


Рис.3.24. Шестиногий шагающий аппарат с приклеивающимися стопами ног:

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

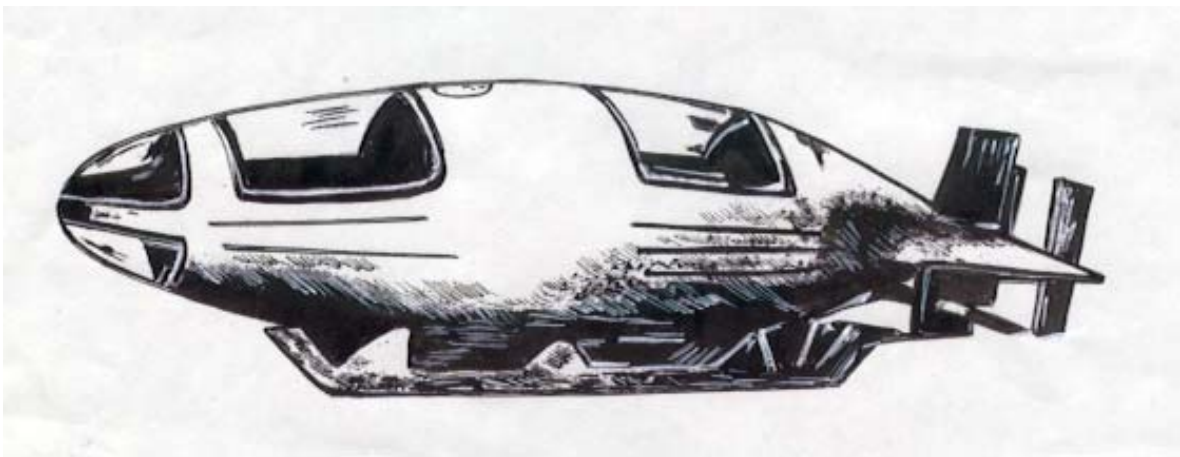


Рис.3.25. Экспериментальный подводный аппарат с крыльевым двигателем подобным хвосту дельфина.

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».

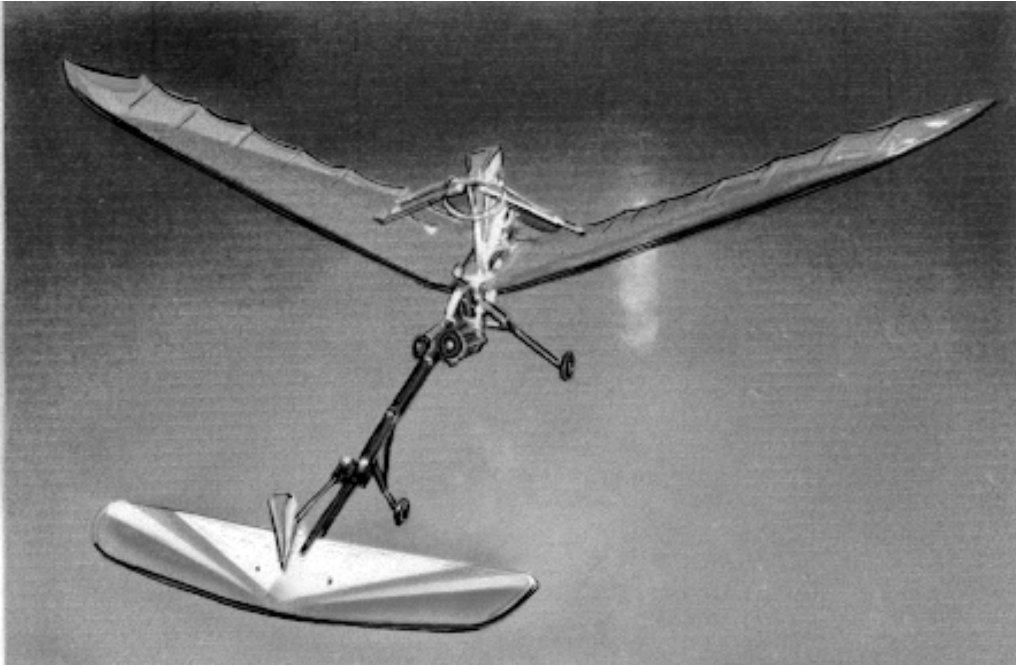


Рис.3.26. Экспериментальный образец летательного аппарата «Махолет» с машущими крыльями на пневматическом приводе.

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.

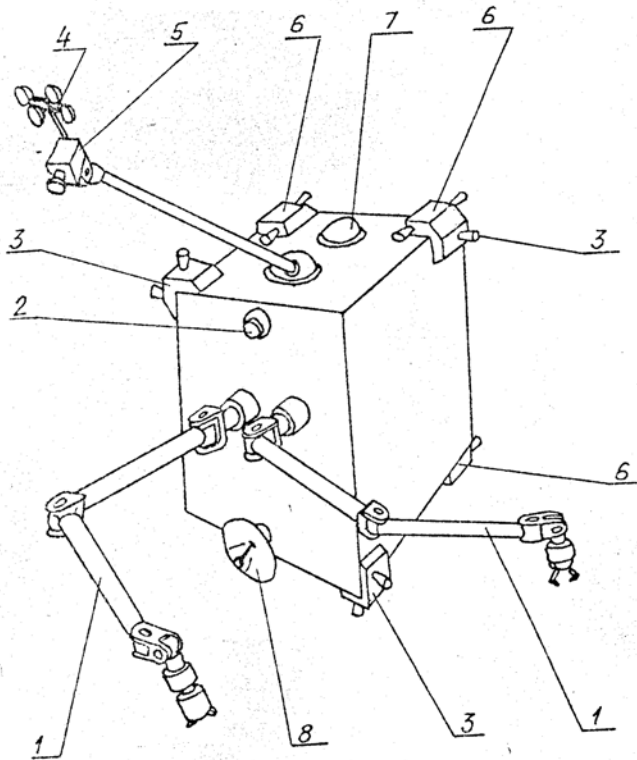


Рис.3.27. Свободнолетающий космический робот:

- 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

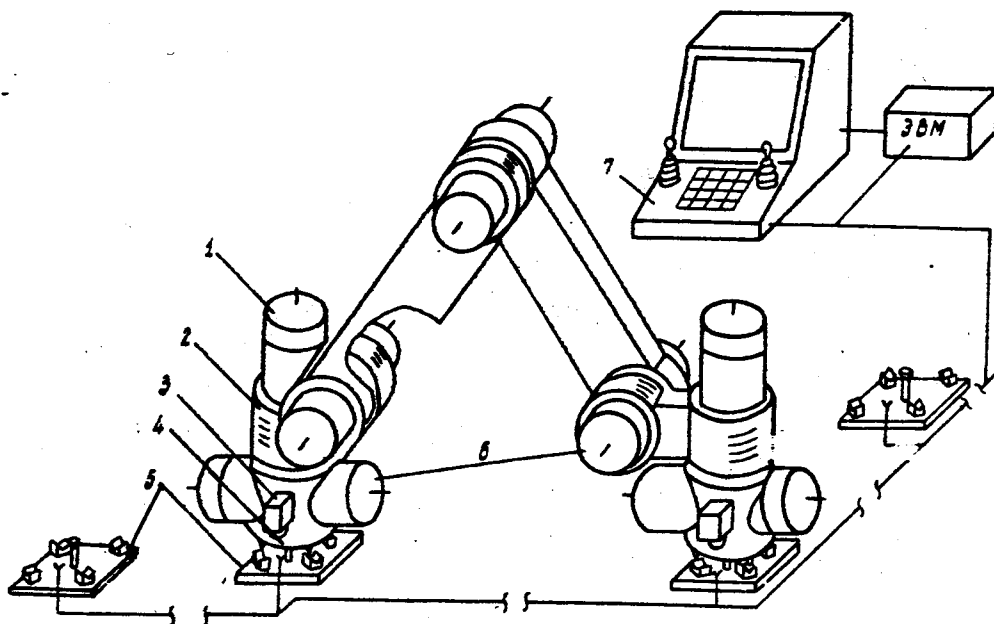


Рис. 3.28. Космический шагающий робот «Циркуль» для наружного обслуживания орбитальных станций (ЦНИИ РТК): 1 – модуль управления шарниром, 2 – вращающийся токосъемник, 3 – телевизионная камера, 4 – стыковочное устройство, 5 – такелажный элемент, 6 – привод (бесколлекторный двигатель, тормоз, инкрементный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

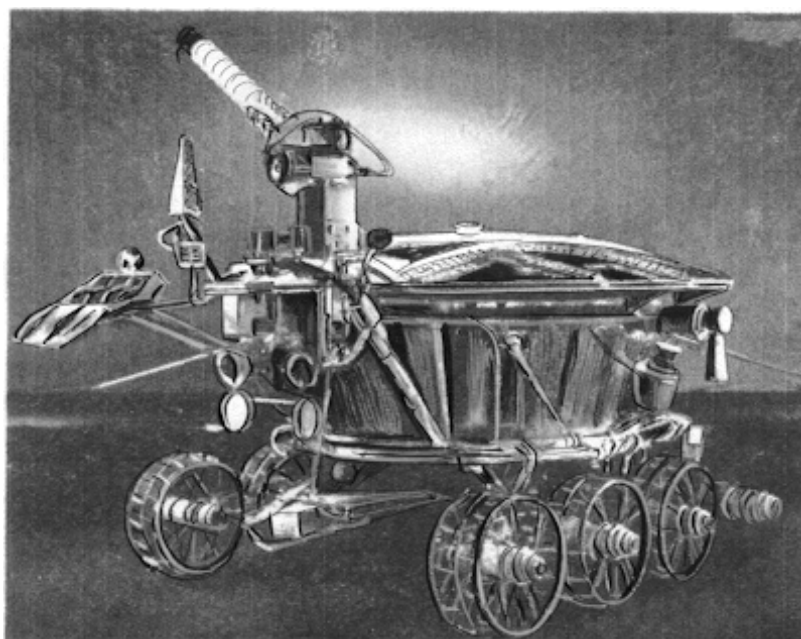


Рис.3.29. Напланетный космический аппарат «Луноход».

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.

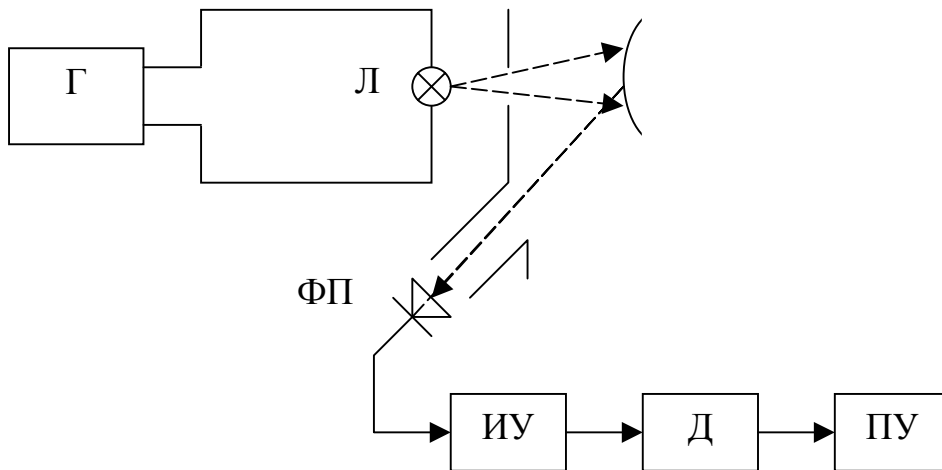


Рис.3.31. Схема светолокационного сенсорного устройства.

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

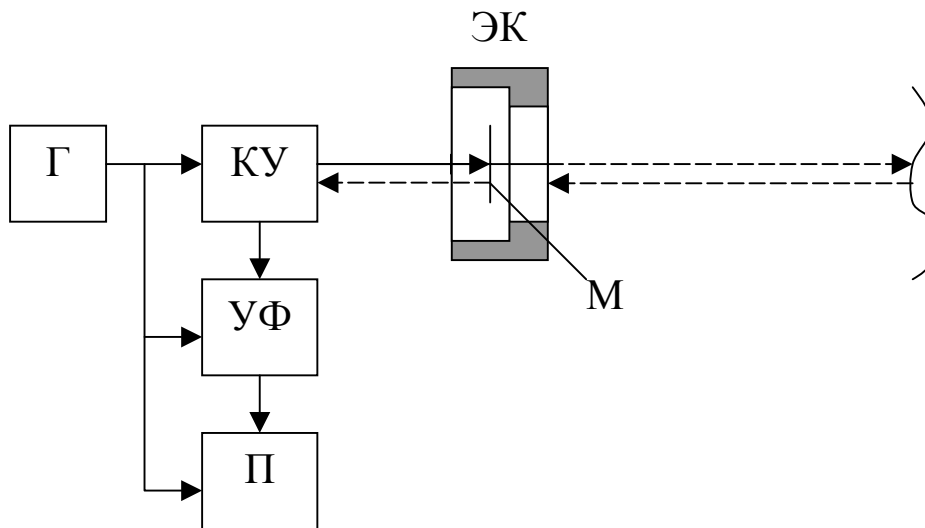


Рис.3.32. Схема ультразвукового сенсорного устройства.

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 оцувствленных 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-

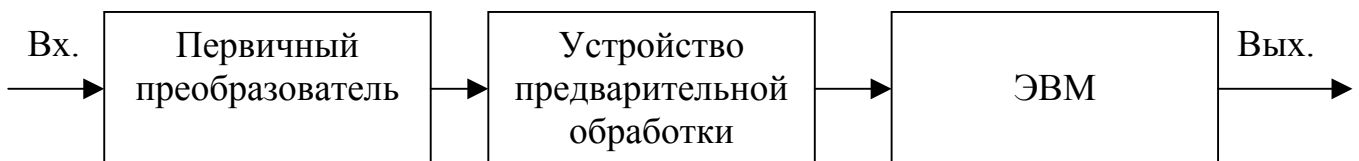


Рис.3.33. Функциональная схема системы технического зрения

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.

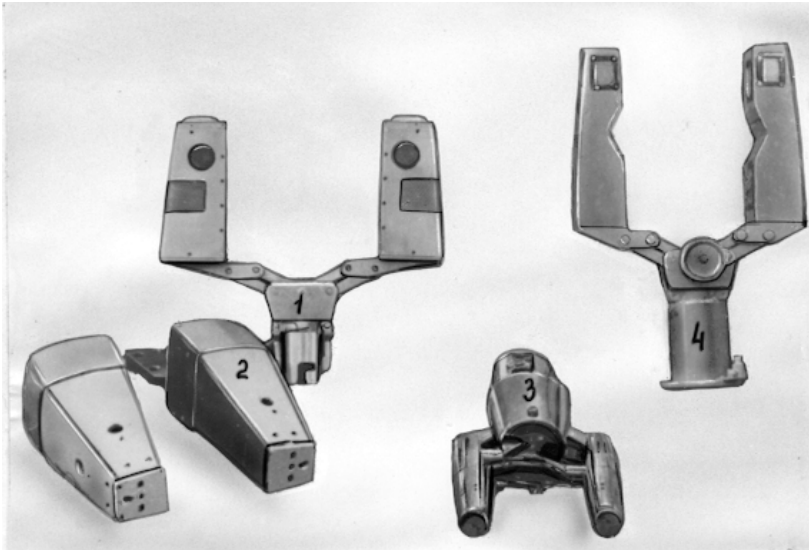


Рис.3.34. Оучувствленные схваты ЦНИИ РТК:

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 роботов.

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 роботов 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 роботов 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).

Попадающее 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.

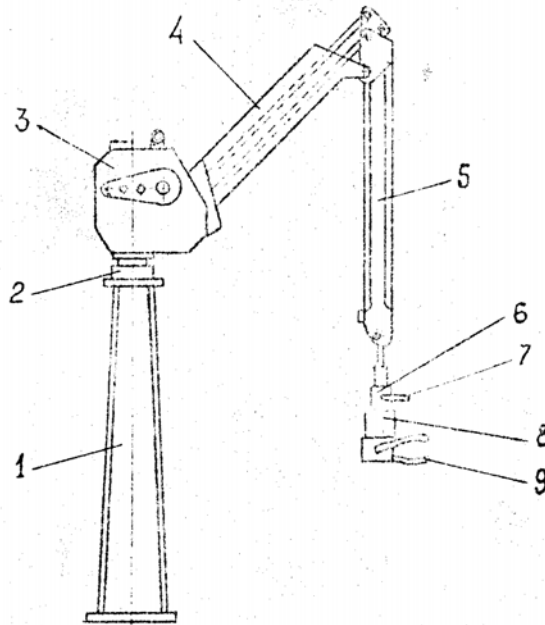


Рис.3.36. Электромеханический сбалансированный манипулятор.

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.

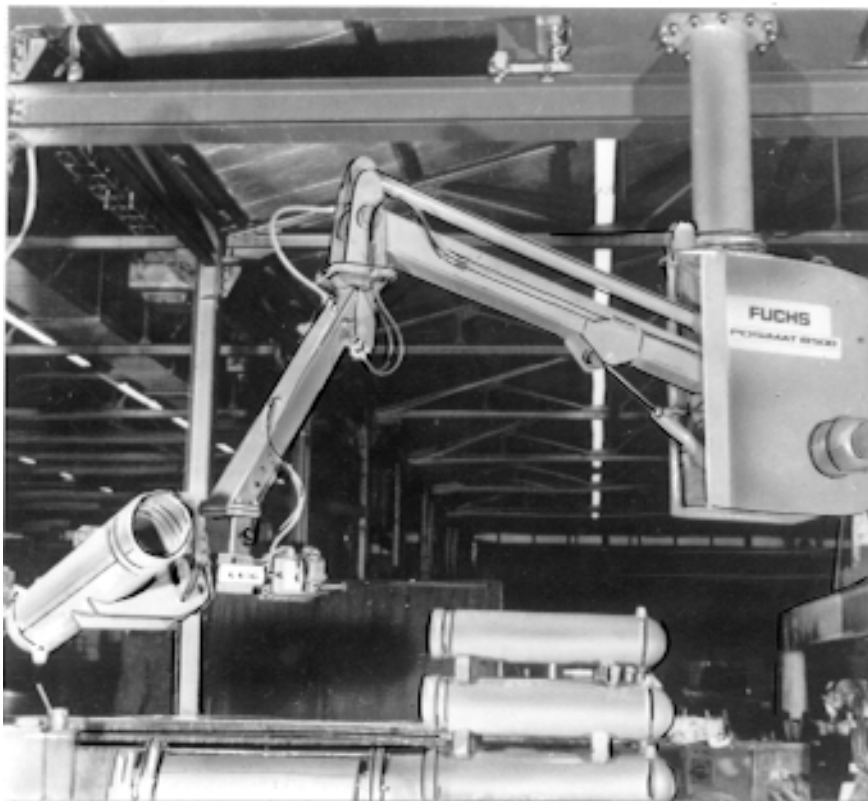


Рис.3.38. Гидравлический сбалансированный манипулятор.

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 М является редуктором и понижает скорость, датчик скорости ставится не как показано на ри-

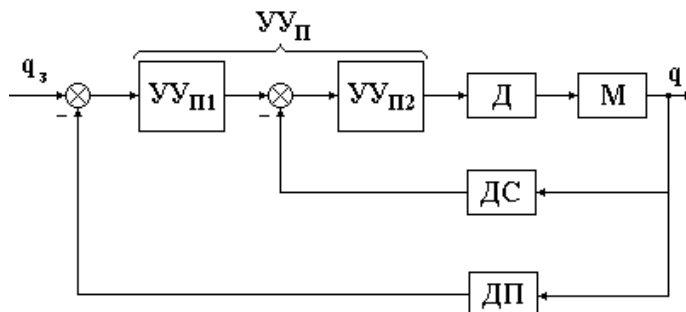


Рис. 4.1. Типовая схема приводов манипуляторов:

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-

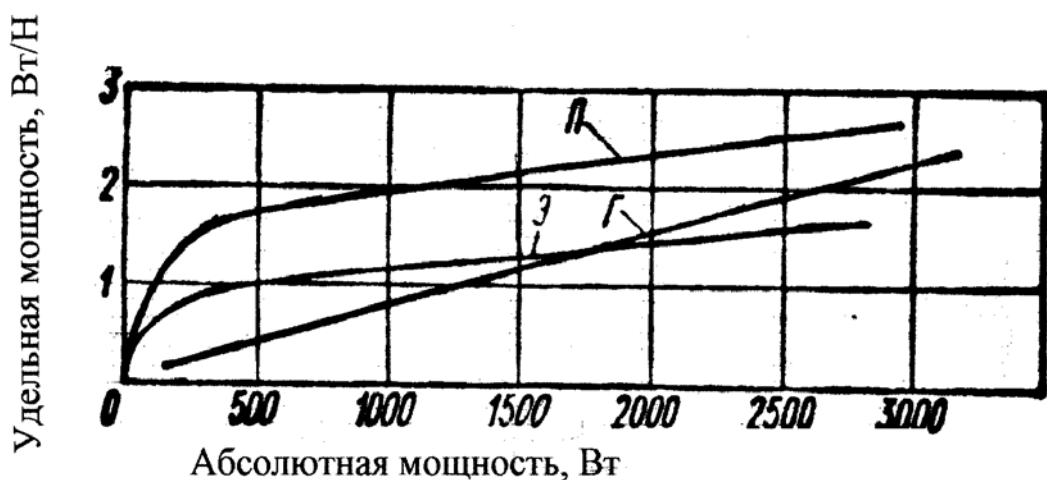


Рис. 4.2. Удельная мощность электрических Э, гидравлических Г и пневматических П приводов в зависимости от их абсолютной мощности.

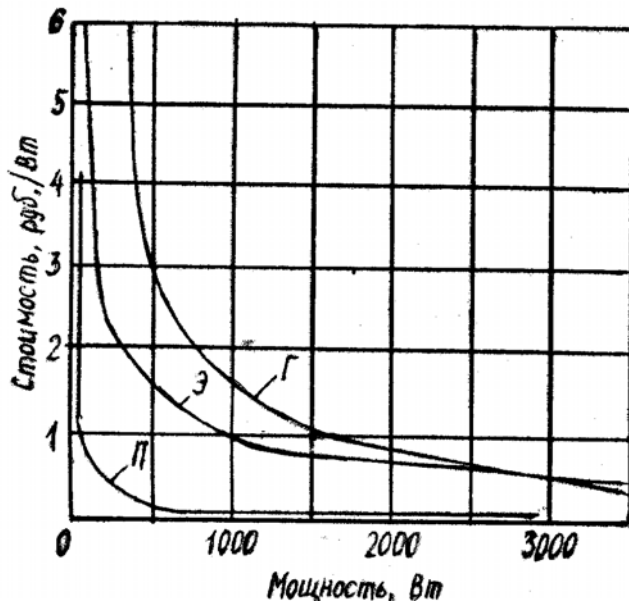


Рис.4.3. Стоимость электрических Э, гидравлических Г и пневматических П приводов в зависимости от их мощности.

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

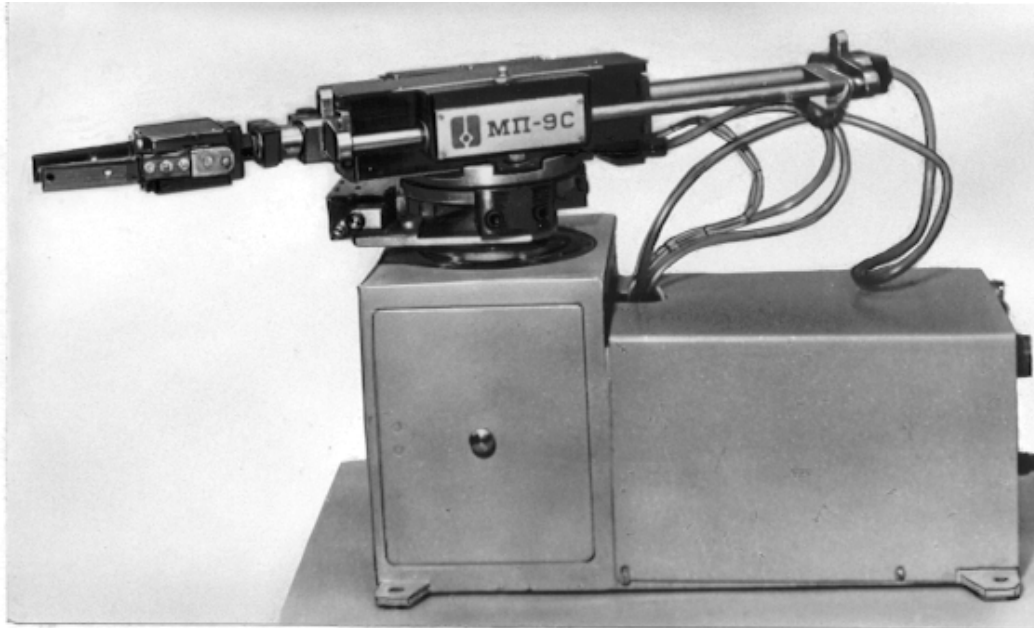


Рис. 4.4. Пневматический промышленный робот МП-9

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

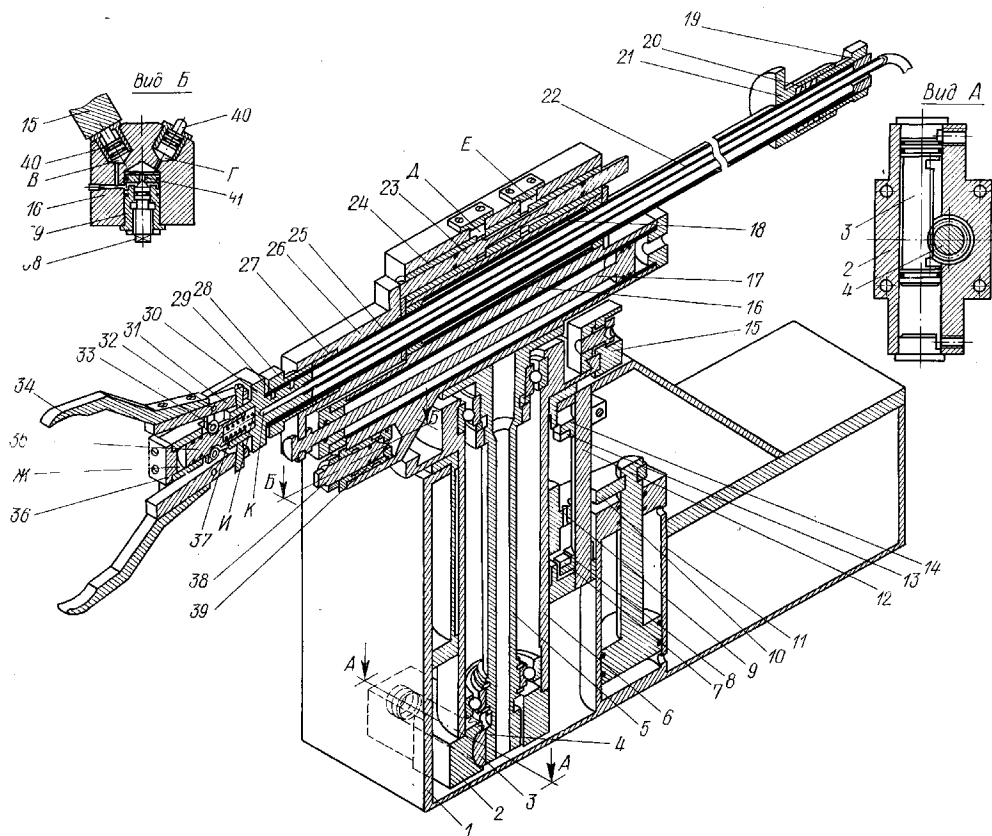


Рис. 4.5. Кинематическая схема промышленного робота МП-9С

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-

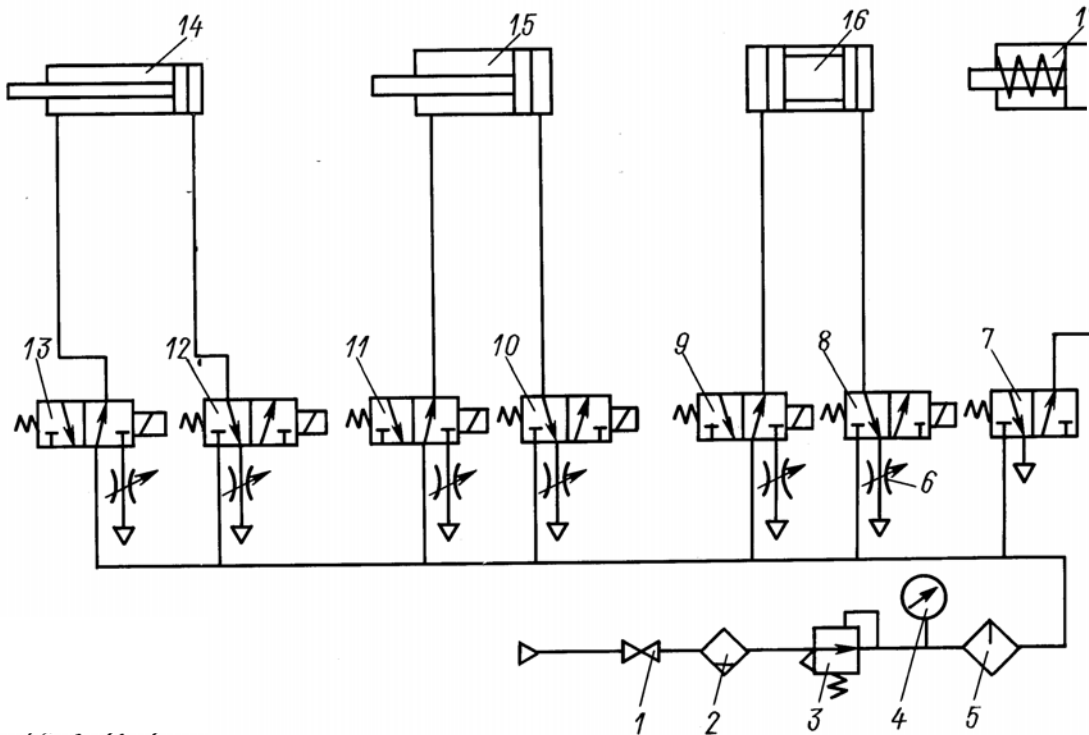


Рис. 4.6. Пневматическая схема промышленного робота МП-9

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-

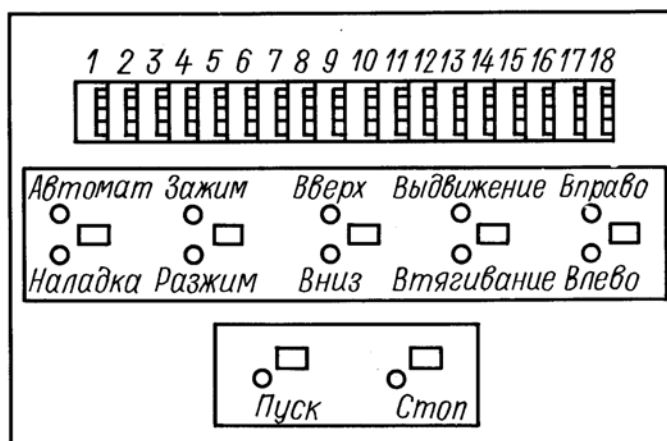


Рис. 4.7. Лицевая панель устройства управления промышленного робота МП-9С

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.

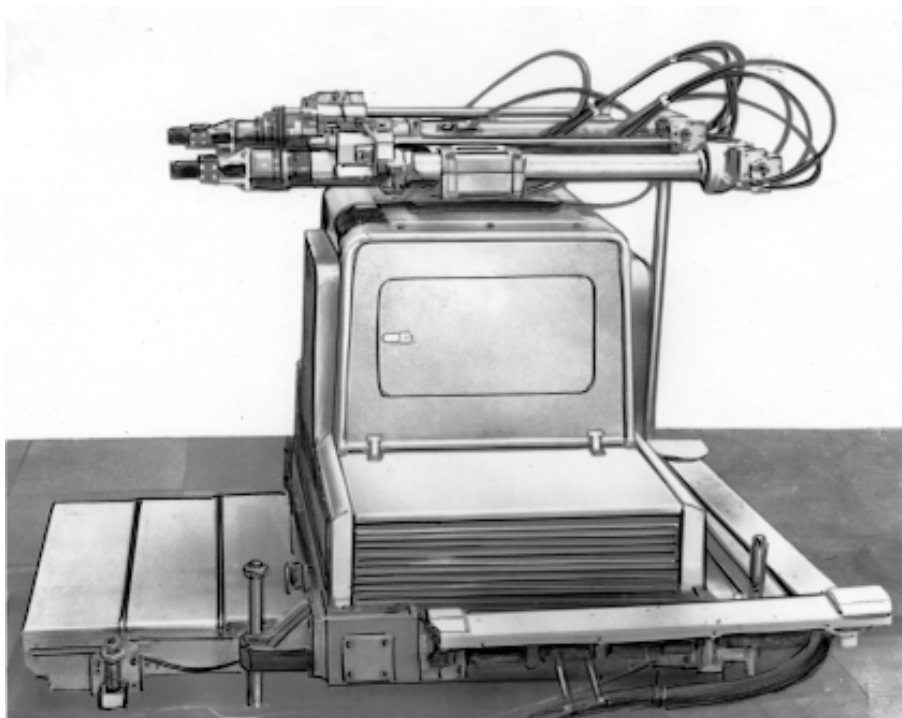


Рис. 4.8. Пневматический промышленный робот “Циклон 5” грузоподъемностью 5 кг

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

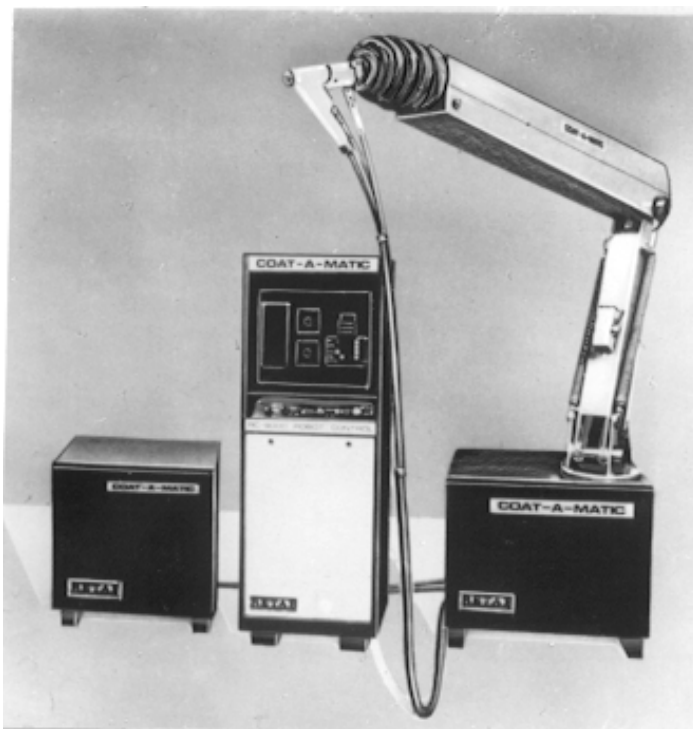


Рис. 4.9. Гидравлический промышленный робот с непрерывным управлением “Коат-а-Матик” фирмы “Ретаб” (Швеция)

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.

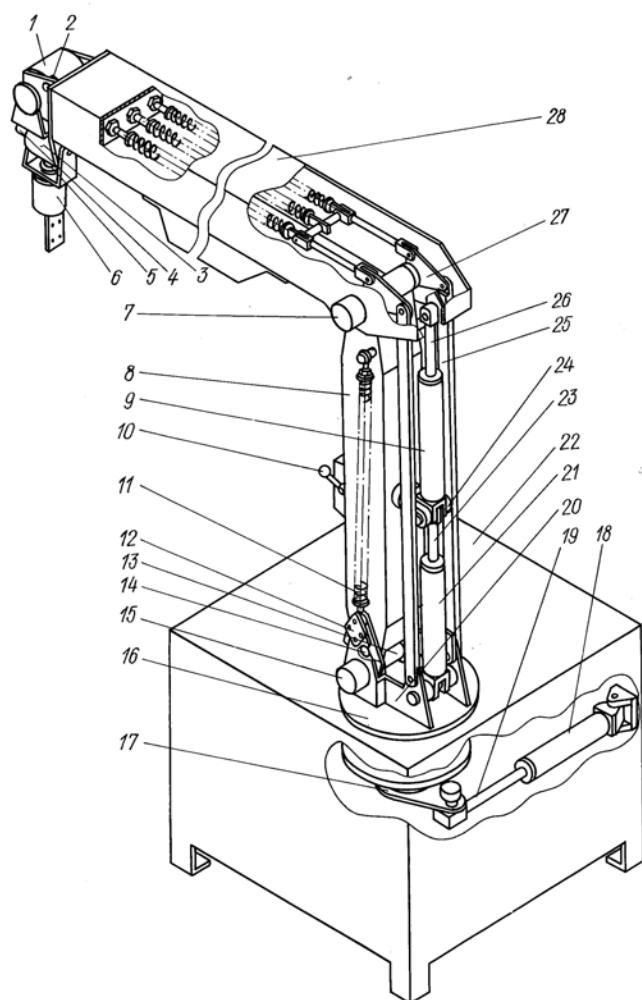


Рис. 4.10. Кинематическая схема робота “Коат-а-Матик”

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

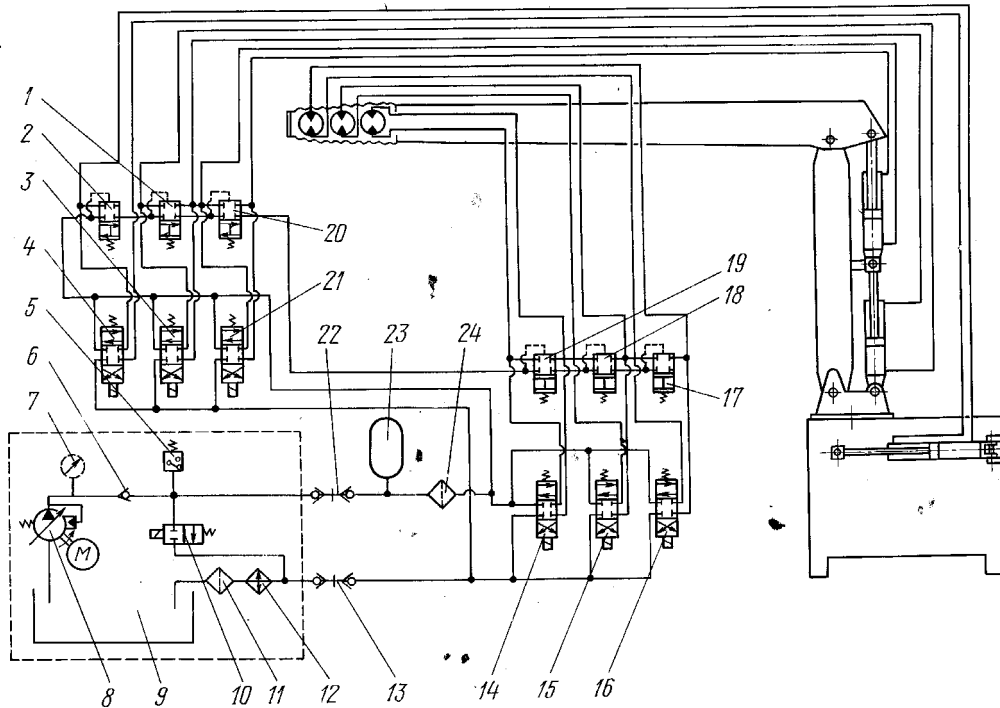


Рис. 4.11. Гидравлическая схема робота “Коат-а-Матик”

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-

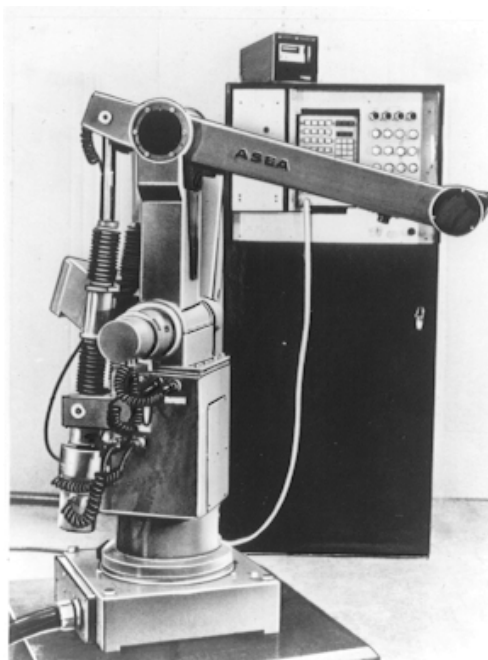


Рис. 4.12. Электромеханический промышленный робот ИРб-6 фирмы АСЕА (Швеция)

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,

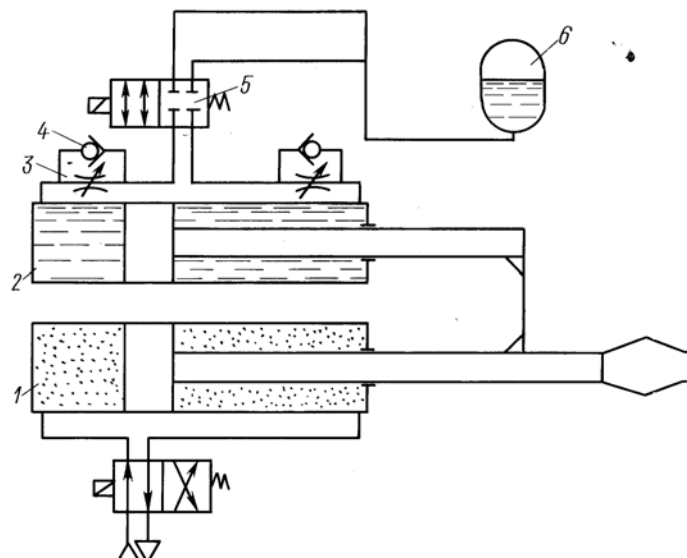


Рис. 4.13. Схема пневмогидравлического привода

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 гидродросселей 3. (При этом гидродросселем 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.

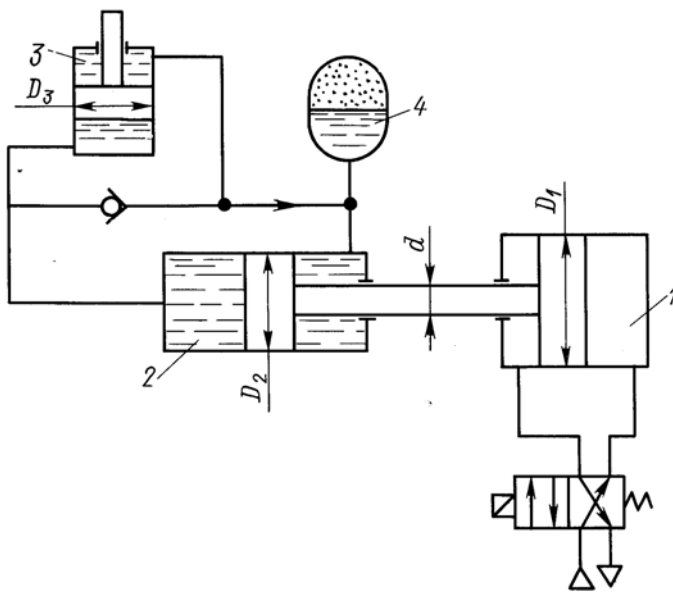


Рис. 4.14. Схема гидропневматического привода

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 запасаания энергии: запасаание 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.

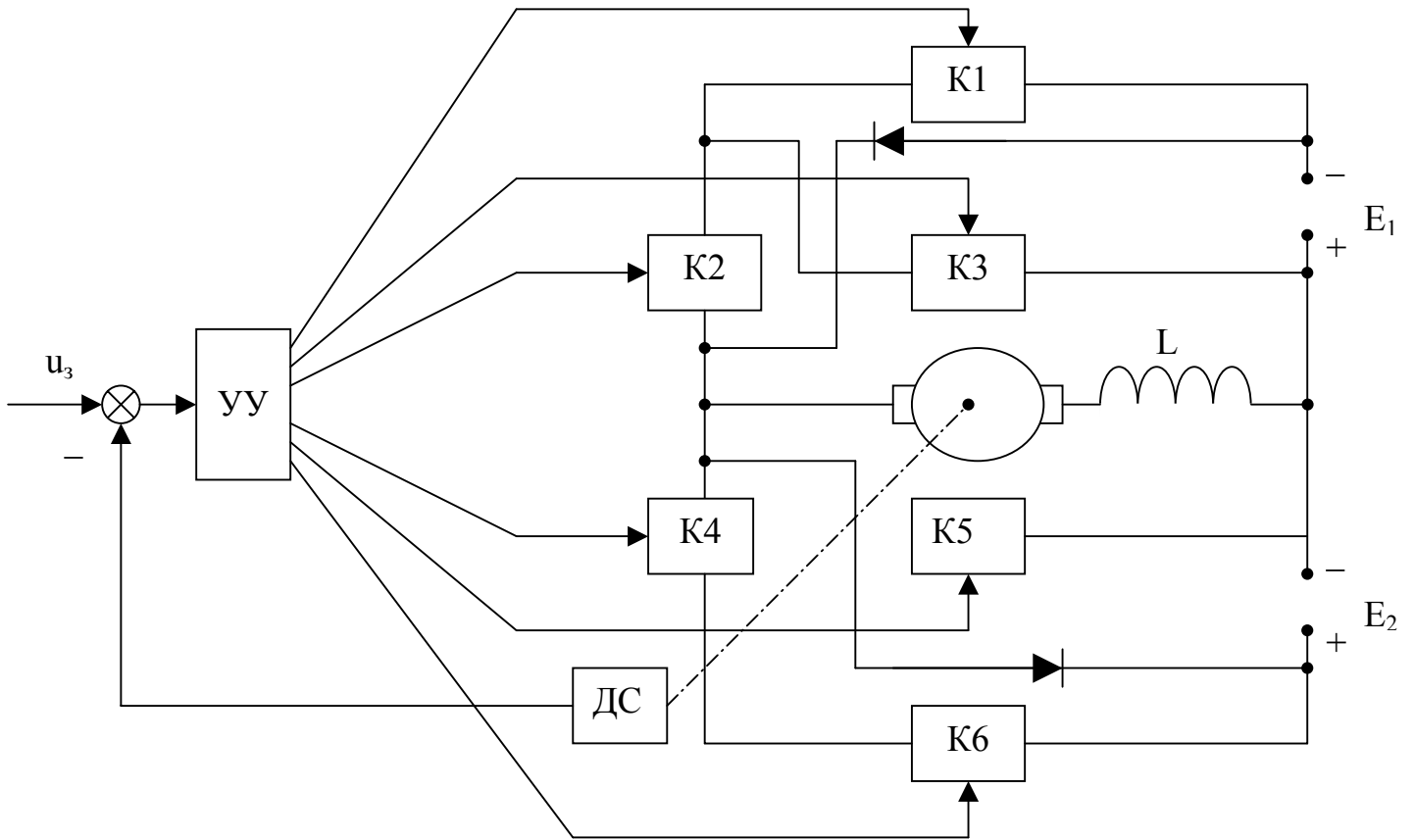


Рис. 4.15. Схема системы управления приводом мобильного робота с рекуперацией энергии: Д — двигатель; E_1 , E_2 — источники напряжения постоянного тока; УУ — устройство управления; ДС — датчик скорости; К — ключи; L — индуктивность

4.7. Искусственные мышцы

Важным бионическим направлением в робототехнике является создание приводов типа искусственная (техническая) мышца. Современные приводы, применяемые в робототехнике, по своим массогабаритным параметрам на порядок уступают поперечно-полосатым мышцам животных и человека (см. главу 2). Учитывая, что параметры приводов в значительной степени определяют массогабаритные и энергетические характеристики роботов в целом, это определяет интерес к проблеме создания технических аналогов таких мышц.

Одна из очевидных причин неудовлетворительных массовых параметров современных приводов по сравнению с мышцами – это применение в них металлов, особенно ферромагнитных в электрических двигателях. Поэтому первыми разработками приводов, получивших название искусственная мышца, были пневматические приводы, в которых цилиндр с поршнем заменялся эластичной трубкой (резина, полимеры) в оплетке крест-накрест (нейлон). При подаче в трубку воздуха под давлением оплетка заставляет трубку раздуваясь сокращаться на величину до одной трети длины, имитируя работу мышцы. Такие приводы имеют в 3-4 раза меньшую массу, чем пневматические цилиндры на ту же мощность, и поэтому они получили применение, в частности, при протезировании конечностей. Источником сжатого газа при этом служат обычно одноразовые баллончики.

На рис. 4.16 показано устройство реверсивного привода такого типа, примененно-

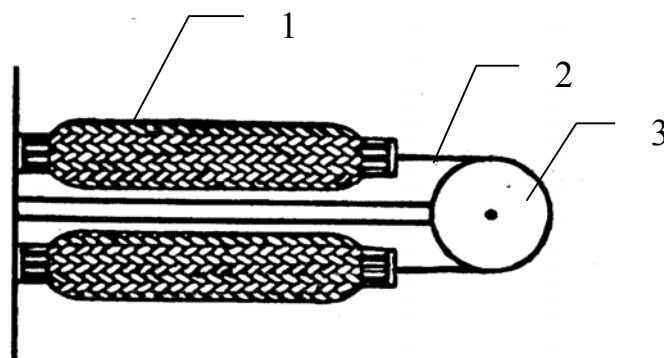


Рис.4.16. Реверсивный гибкий пневматический привод фирмы «Бриджестоун»:
1 – гибкий пневматический привод; 2 – трос; 3 – блок.

го в промышленном роботе «Софтартм» фирмы «Бриджестоун» (Япония). Устройство состоит из двух пневматических приводов одностороннего действия. При повышении давления в одном из них и одновременном понижении на ту же величину в другом первый привод сокращается, а второй удлиняется. В результате через трос происходит поворот блока, который связан со звеном манипулятора. Угол поворота блока практически прямо пропорционален разности давлений в приводах. Грузоподъемность шарнирного манипулятора с пятью степенями подвижности робота «Софтартм» – 3 кг при массе 5,5 кг. Погрешность позиционирования – 1.5 мм.

На рис.4.17 показан вариант пневматической искусственной мышцы, в которой газ под давлением получается непосредственно в самой трубке в результате нагрева электрическим током [10]. При прохождении электрического тока по термоэлементу 3 наполнитель 4 нагревается и выделяет газ. В результате внутри трубки повышается давление и она раздуваясь сокращается по длине. После отключения тока наполнитель охлаждается, вновь поглощая выделившийся газ, и мышца приходит в исходное состояние.

Длина мышцы – 150-300 мм, диаметр 3-5 мм. Величина сокращения – 10-15 %.

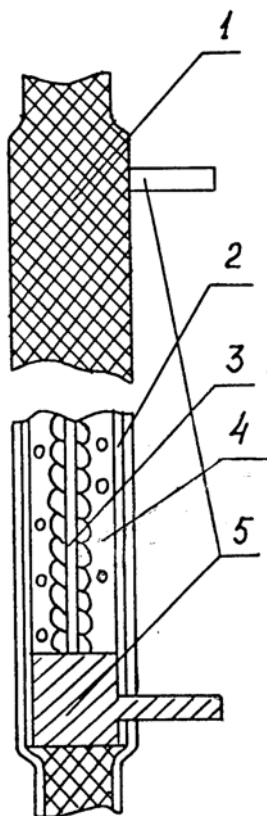


Рис.4.17. Сорбиционная искусственная мышца:

1 – хордовая оболочка; 2 – эластичная трубка; 3 – термоэлемент; 4 – наполнитель; 5 – электрические выводы.

Развиваемое усилие – 100-300 гр., при массе мышцы – единицы грамм. Главный недостаток этой мышцы – очень низкое быстродействие: время сжатия больше 30 с, а обратного расслабления еще в 2-3 раза больше. Другой вариант подобной пневматической мышцы с тепловым воздействием – заполнение трубки легкокипящей жидкостью с воздействием на нее внешним источником тепла.

Разновидностью пневматических искусственных мышц являются аналогичные устройства с заменой оплетки продольными тяговыми нитями. Такие конструкции имеют лучшие тяговые характеристики и развивают большие усилия. Еще большие тяговые усилия можно получить при замене газа жидкостью под давлением, т.е. при переходе к гидравлическим искусственным мышцам. Кроме того, такие гидравлические искусственные мышцы обладают более

высокой точностью позиционирования и лучшей динамикой как все гидравлические приводы по сравнению с пневматическими.

Наряду с описанными пневматическими и гидравлическими приводами типа искусственная мышца существуют близкие им эластичные приводы, в которых работа совершается за счет изгибных деформаций эластичных полостей. Пример такого привода типа «хобот» был приведен на рис.3.10,б. Однако поскольку в этом случае используется деформация не сжатия как у мышц, а изгиба эти приводы формально не относятся к искусственным мышцам. В среднем описанные пневматические и гидравлические искусственные мышцы по сравнению с аналогичными традиционными приводами (цилиндрами) в 3 раза легче, в два раза меньше по габаритам и развивают в десятки раз большее усилие на единицу веса.

Наряду с рассмотренными реализованными в конкретных конструкциях типами пневматических и гидравлических искусственных мышц в мире ведутся интенсивные исследования и разработки искусственных мышц, основанных на других физических принципах. Наиболее близки к рассмотренным устройствам разработки электромагнитных и электростатических искусственных мышц.

Электромагнитная искусственная мышца состоит из многовитковой обмотки, сжатой в жгут, в котором проводники с электрическим током противоположного направления прижаты друг к другу. При пропускании по ним тока они вследствие электромагнитного силового взаимодействия расходятся в поперечном направлении. В результате длина жгута сокращается подобно описанному выше сокращению пневматических и гидравлических мышц.

Электростатическая искусственная мышца имеет форму цилиндра, по оси которого расположен центральный электрод, а по образующим цилиндра соединенные друг с другом гибкие периферийные электроды. При подаче на центральный и периферийный электроды электрического потенциала возникает электрическая сила, которая отталкивает периферийные электроды от центрального. В результате периферийные электроды изгибаются, вызывая сокращение мышцы. Другой вариант электростатической мышцы представляет собой столбик, составленный из тонких металлических дисков (пленок), разделенных упругими изолирующими прокладками. Все нечетные и все четные диски соединены друг с другом. При подаче на них электрического напряжения разной полярности диски сближаются, сжимая изолирующие прокладки, и мышца сокращается. Вместо изолирующих прокладок может быть использован газ.

Следующий тип искусственных мышц – это мышцы на ионизированных полимерных гелях и ионных полимерно-металлических композитных материалах. В электрическом поле молекулы этих материалов ионизируются и испытывают механические силы, которые вызывают деформацию (изгиб) материала в направлении перпендикулярном градиенту электрического поля. На этом принципе был создан, в частности, пятипальцевый хват для манипуляторов[11].

Разрабатываются также искусственные мышцы на базе различных искусственных волокон, деформируемых под действием химических реагентов. Для всех их характерным является низкое быстродействие (секунды) и величины хода

(деформации) порядка 10-15 %. Общим достоинством всех предложенных приводов типа искусственная мышца является в несколько раз лучшие массогабаритные параметры по сравнению с традиционными приводами.

ГЛАВА 5. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ.

5.1. Классификация систем управления.

Управление роботами осуществляет его устройство управления (см.рис.В.1). В совокупности с сенсорной и исполнительными системами оно образует систему автоматического управления робота. Кроме того, через устройство управления роботом может управлять человек-оператор.

Согласно данной ранее классификации в роботах применяются три способа управления – программное, адаптивное и интеллектуальное. Практически только программное управление нашло применение в чистом виде, да и то часто и к нему добавляют элементы адаптации. В целом же все эти три способа управления применяются комплексно. Адаптивное управление обычно строится на базе программного как следующий уровень управления. Интеллектуальное управление в свою очередь реализуется как надстройка над первыми двумя уровнями. Названия систем управления конкретных роботов обычно определяется основным использованным в ней способом управления.

По степени участия человека-оператора в процессе управления различают системы

- автоматического,
- автоматизированного и
- ручного управления.

По типу движения исполнительных систем существуют системы управления

- непрерывные (контурные),
- дискретные позиционные (шагами «от точки к точке») и
- дискретные цикловые (по упорам, как правило, с одним шагом по каждой координате).

По управляемым переменным различают системы управления

- положением (позицией),
- скоростью,
- силой (моментом).

Часто эти способы управления применяют в комбинации либо разные способы по разным координатам, либо с последовательным переходом от одного к другому, либо, наконец, в виде функциональной зависимости управляемой переменной от другой (например, управление по силе, величина которой задается как функция от положения).

5.2. Системы программного управления.

5.2.1. Системы дискретного циклового управления.

Такое управление, как уже упоминалось, имеют практически все пневматические роботы (см. параграф 4.2). Процесс управления отдельными приводами сводится к однократному разгону, движению с постоянной скоростью и торможению при достижении упора. Программирование робота заключается в установке на каждом приводе этих упоров, которые определяют величину перемещения по соответствующей степени подвижности (см., например, на рис.4.5), скорости этих перемещений, последовательности включений приводов и возможных задержек времени между этими включениями. Все эти операции кроме установки упоров проводятся с помощью переключателей (см. рис.4.7) или других органов на пульте устройства управления. Вследствие простоты циклового управления для роботов с таким управлением, как правило, применяют устройства группового управления. На рис.5.1. показано одно из таких отечественных устройств, которое имеет 512 управляющих выходов на приводы с возможностью организации локальной сети.

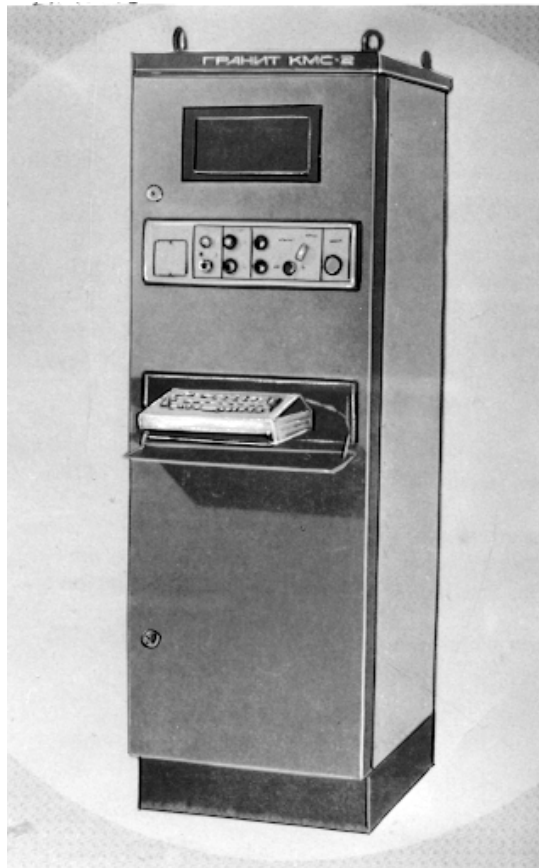


Рис.5.1. Унифицированное устройство группового циклового программного управления "Гранит КМС-2".

5.2.2. Системы дискретного позиционного управления.

Типичные роботы с таким управлением – это промышленные роботы для точечной сварки, сборки и обслуживания различного технологического оборудования. К таким роботам относятся роботы, показанные на рис.1.5, 1.6, 3.6, 3.8.

Эти роботы имеют большое число (десятки) точек позиционирования рабочего органа манипулятора. В отличие от систем циклового управления здесь точность позиционирования обеспечивается не упорами, а точностью отработки приводами с обратной связью по положению заданных управляющей программой точек позиционирования. (Исключение составляют разомкнутые системы на шаговых приводах.)

Системы программного управления роботом первоначально были заимствованы из систем ЧПУ технологического оборудования, но они существенно сложнее последних, прежде всего из-за большего числа степеней подвижности и их взаимосвязанности. Процесс дискретного позиционного программного управления манипулятором выглядит следующим образом. В устройстве управления обычно на магнитном носителе хранится управляющая программа, которая состоит из занесенных на отдельные параллельные дорожки программ для отдельных приводов. Эти программы представляют собой последовательность численных значений шагов позиционирования привода данной степени подвижности. Отработка управляющей программы заключается в одновременной подаче на все приводы значений очередного шага и отработке приводами этого задания. После того как все приводы остановятся, рабочий орган манипулятора займет соответствующую очередную позицию в пространстве и ориентацию. После этого управляющая программа выдаст команду на выполнение приводами следующего шага и т.д. В результате рабочий орган манипулятора будет перемещаться шагами по запланированной дискретной траектории, останавливаясь после каждого шага.

Программирование, т.е. синтез управляющей программы, осуществляется методом обучения на самом роботе или аналитически на ЭВМ. Первый способ программирования, так же в свое время заимствованный у систем ЧПУ технологического оборудования, применительно к манипуляторам имеет два варианта. В первом варианте оператор в режиме ручного управления отдельными приводами последовательно устанавливает рабочий орган манипулятора в заранее выбранные точки заданной программной траектории. При этом в каждой такой точке в память устройства управления заносятся значения сигналов с датчиков положения всех приводов. В результате прохождения таким образом всей траектории в устройстве управления оказывается записанной соответствующая ей управляющая программа. После пробного ее воспроизведения и при необходимости корректировки в отдельных точках программа готова к работе.

Развитием этого способа программирования методом обучения стало использование системы технического зрения и персонального компьютера. На время программирования на рабочем органе манипулятора крепится передающая телевизионная камера, которая передает изображение объектов внешней среды, с которыми манипулятору предстоит работать, на экран персонального компьютера. Управление манипулятором осуществляется при этом с помощи мыши или других аналогичных средств путем одновременного скоординированного воздействия на приводы манипулятора. Последние вычисляются компьютером в соответствии с заданием от оператора. Достоинство этого варианта программирования в существенном ускорении этого процесса.

Второй вариант программирования методом обучения заключается в перемещении рабочего органа манипулятора рукой оператора и записи при этом показаний датчиков положения приводов как в предыдущем варианте. Для выполнения такой операции на рабочем органе предусматриваются специальные ручки, а в конструкции самого манипулятора – возможность отсоединения приводов от его механической части, чтобы дать возможность оператору беспрепятственно ее перемещать. Таким образом этот вариант программирования требует соответствующего изменения конструкции манипулятора. Примером такого манипулятора, правда, с рассматриваемым ниже непрерывным управлением, является манипулятор робота «Коат-а-Матик», описанного в главе 4 (см.рис.4.9,4.10).

Развитием этого варианта программирования обучением стало применение съемной многостепенной задающей рукоятки, которая укрепляется на время этой операции на рабочем органе манипулятора. Оператор, смещая рукоятку с нейтральной в нужном направлении, осуществляет перемещение рабочего органа путем управления приводами манипулятора через его устройство управления с помощью контактов задающей рукоятки. Этот вариант программирования, таким образом, применим ко всем манипуляторам, не требуя отсоединения приводов как в исходном варианте.

Аналитический способ программирования позволяет синтезировать управляющие программы на ЭВМ, не задействуя робот. По существу, в этом случае вместо робота используется его математическая модель, с помощью которой и осуществляется процесс программирования подобно тому, как это делается на реальном роботе. При этом для получения математической модели требуемой точности с робота необходимо регулярно снимать соответствующие характеристики. Такой способ программирования не требует отключения робота на время программирования от технологического процесса, в котором он задействован. Поэтому будущее за аналитическим способом программирования.

5.2.3. Системы непрерывного управления.

Типичные роботы с непрерывным (контурным) управлением – это промышленные роботы для дуговой сварки и резки, для нанесения покрытий. Пример такого робота показан на рис.4.10. Главное отличие этих роботов от роботов с рассмотренным выше дискретным позиционным управлением состоит в том, что движение по программной траектории осуществляется без остановок. Это требует от приводов большего быстродействия и приводит к принципиальному различию их программирования. Если, например, записать управляющую программу для манипулятора с непрерывным управлением методом обучения, перемещая его рабочий орган по требуемой программной траектории на небольшой скорости, а затем воспроизвести эту программу на существенно большей скорости, какая требуется по технологии, то из-за неизбежного динамического запаздывания рабочий орган на всех изгибах траектории будет сходить с нее. Это динамическая ошибка будет возрастать с увеличением скорости движения. Поэтому управляющие программы при таком методе программирования обучением необходимо корректировать и отрабатывать на заданной реальной скорости, с которой программная траектория должна воспроизводиться. То же относится, разумеется, и к аналитическому программированию: здесь необходима динамическая математическая модель робота, в то время как при дискретном позиционном управлении требуется кинематическая модель.

При программировании систем непрерывного управления методом обучения помимо запоминания непрерывного перемещения приводов нашел применение существенно более простой способ, когда запоминаются только ряд дискретных позиций на программной траектории, а участки траектории между ними формируются при воспроизведении программы с помощью интерполятора в виде стандартных математических функций. Выбор точек на программной траектории производится с учетом кривизны траектории: чем она больше, тем меньше берется расстояние между точками. Достоинство такого способа программирования в резком сокращении требуемого объема памяти устройства управления, а недостаток – в меньшей точности воспроизведения программной траектории. Аппаратно соответствующее устройство управления представляет собой устройство дискретного позиционного управления, дополненное интерполятором, т.е. оно пригодно для роботов с любым из этих способов управления.

5.2.4. Системы управления по силе.

Наряду с управлением перемещением в манипуляторах часто требуется управление силой, с которой рабочий орган манипулятора воздействует на объекты внешней среды. Это необходимо при выполнении таких

технологических операций как зачистка, шлифовка и полировка поверхностей, механическая сборка и т.п. Для осуществления управления силой рабочий орган манипулятора снабжается сенсорным устройством измерения вектора силы (например, тензометрическим), которое обычно устанавливается непосредственно перед рабочим органом. Программа управления величиной силы обычно заключается в поддержании ее постоянного значения или в изменении в функции от перемещения. Возможен и обратный вариант управления перемещением в функции от развиваемой силы воздействия на среду. Последние варианты называются позиционно-силовым управлением.

Строго говоря, управление с использованием информации о силе должно относиться уже к адаптивному управлению, так как эта информация относится к внешней среде, хотя в его основе и лежит программное управление.

5.3. Системы адаптивного управления.

Рассмотренные выше системы программного управления роботами основаны на наиболее простом способе автоматического управления без обратной связи по фактическому состоянию внешней среды, с которой взаимодействует робот. В связи с этим такие системы применимы только при полностью детерминированных и неизменных на протяжении всего процесса управления внешних условиях работы, а также целях управления и параметрах самого робота. Адаптивное управление осуществляется в функции от параметров внешней среды и поэтому позволяет обеспечить достижение цели управления при непостоянстве или неполной априорной информации об этих параметрах. Примерами простейших задач, которые могут быть решены с помощью адаптивного управления, являются взятие произвольно расположенных или подвижных предметов путем наведения на них захватного устройства манипулятора, выбор и взятие предметов из ряда других по определенным признакам (форма, цвет и т.д.), обход непредвиденных препятствий и т.п. Для осуществления такого управления робот должен быть снабжен сенсорными устройствами, которые были рассмотрены в параграфе 3.5.

При адаптивном управлении, разумеется, максимально используют и заранее составленные программы для выполнения тех частей задания, которые могут быть реализованы этим простым способом. Таким образом, в общем случае в системах адаптивного управления используются оба способа управления – программное и в функции от текущей информации о внешней среде. Примером системы адаптивного управления является система управления промышленным роботом для дуговой сварки. Сам процесс сварки ведется по программе, однако перед этим автоматически осуществляется поиск места стыка свариваемых деталей, затем движение

вдоль стыка при определенных ориентации и расстоянии электрода относительно стыка. Эти задачи реализуются с помощью различного типа датчиков угла наклона и расстояния (например, индуктивных и контактных), которые размещены на сварочной головке манипулятора. Другим примером робота с адаптивным управлением является окрасочный робот с простейшей системой технического зрения, которая служит для определения контура очередного окрашиваемого изделия.

Обобщенная структурная схема системы управления оцувствленным роботом. На рис.5.2 показана обобщенная структура системы управления оцувствленных роботов, к которым относятся и рассматриваемые роботы с адаптивным управлением. Она включает пять уровней управления У1 – У5.

Связь человека-оператора с роботом осуществляется через пульт. Оператор выдает роботу задания, контролирует их выполнение и проводит общий контроль за процессом функционирования робота в целом.

Пятый (верхний) уровень автоматического управления У5 анализирует задания, поступающие от человека-оператора, и определяет последовательность действий робота в соответствии с заданием, т.е. планирует действия робота. На этом уровне анализируется информация о внешней среде, получаемая от сенсорной системы, и синтезируются модели, на базе которых выполняется планирование действия робота. В общем случае модели внешней среды образуют иерархическую последовательность от первичной, наиболее конкретной модели, которая описывается с помощью параметров среды, непосредственно определяемых сенсорными устройствами, и далее до все более абстрактных моделей, использующих соответственно более обобщенные понятия для описания внешней среды. В процессе функционирования робота модели внешней среды корректируются и совершенствуются.

Пятый уровень управления отвечает за функционирование робота как единой системы, обеспечивая реализацию не только основных, «профессиональных» функций робота, но и служебных общесистемных задач, которые определяются требованиями к условиям функционирования робота (обеспечение надежности, включая защиту от внешних воздействий и внутренних неполадок, условий безопасности и т.д.). Уровень У5 определяет в целом интеллектуальные возможности робота и круг решаемых им задач.

Четвертый уровень управления У4 — это уровень синтеза функционально законченных сложных действий, в результате которых решается конкретная задача, например, сборка какого-либо изделия. В соответствии с планом, выработанным для этого на вышестоящем уровне У5, на уровне У4 производится его разбиение на последовательность элементарных типовых операций, которые реализуются нижними уровнями

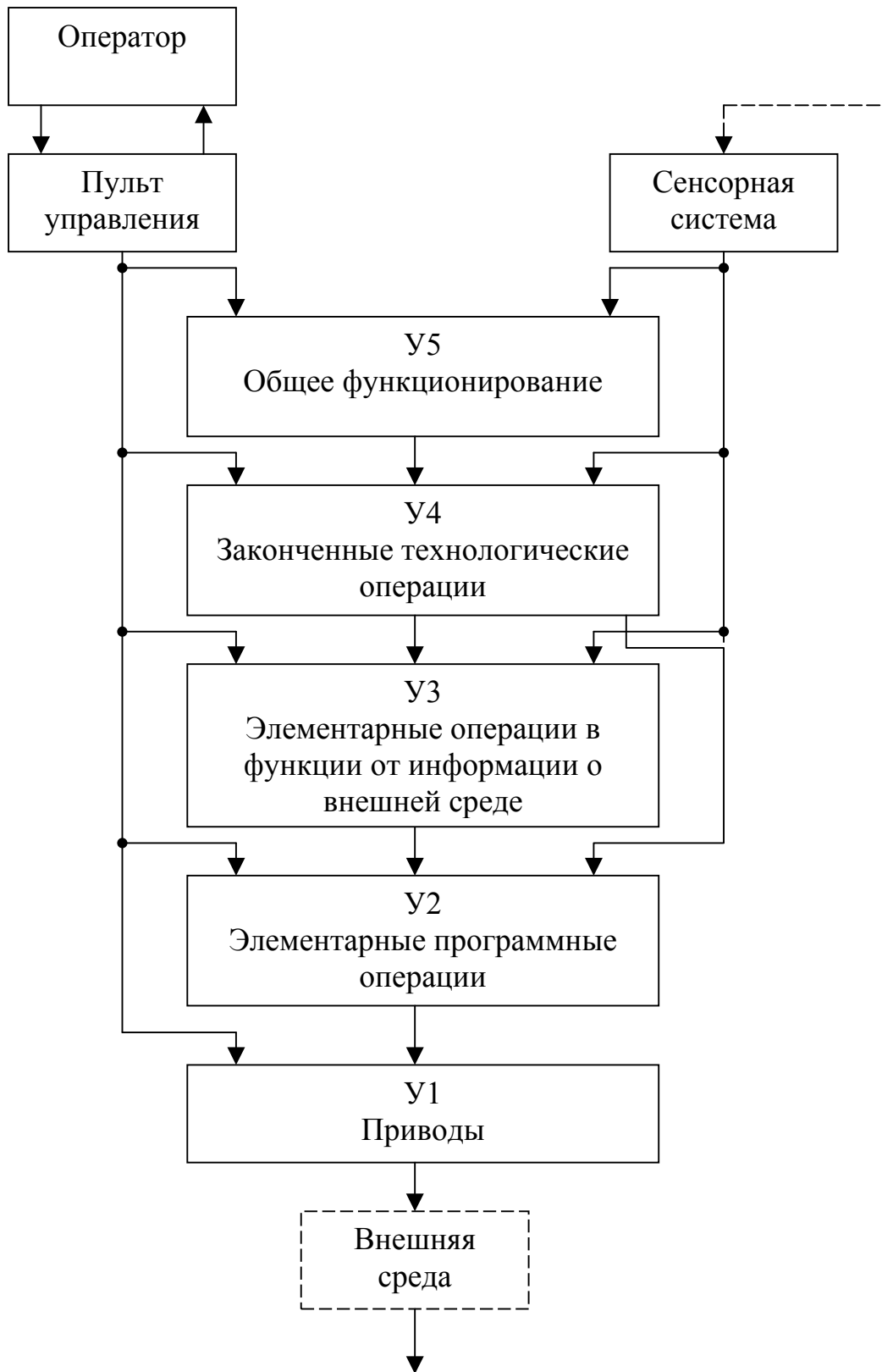


Рис.5.2. Обобщенная структура системы управления оучувствленным роботом.

управления. Так, например, план сборки изделия распадается на последовательность элементарных действий по взятию, ориентированию, соединению и закреплению деталей в узлы, настроечных, контрольно-измерительных и прочих операций. Результатом действия У4 является выдача управлений на последующие уровни У3 и У2. Уровень У4 использует также текущую информацию от сенсорных устройств для оперативной коррекции планов, получаемых с уровня У5.

Третий и второй уровни управления У3 и У2 — это уровни выполнения элементарных операций, на которые могут быть разбиты законченные действия робота. Различие между этими уровнями заключается в том, что на уровне У3 синтезируются адаптивные управления в функции от информации о внешней среде, а на уровне У2 — более простые управления по программе. В связи с этим при синтезе управлений на уровне У3 используются наряду с типовыми программами уровня У2 команды на вход уровня У1 параллельно с управляющими воздействиями с выхода уровня У2. В результате поступившее на вход третьего уровня задание реализуется, во-первых, в виде последовательности типовых программ второго уровня, и во-вторых, в виде совокупности управляющих воздействий непосредственно на отдельные приводы уровня У1. Все эти действия в целом задаются и координируются уровнем У3 в зависимости от текущей информации о внешней среде и состоянии самого робота.

На уровне У2 рассчитываются управляющие воздействия, которые затем поступают на уровень У1, реализующий программное управление приводами.

Нижний уровень управления У1 реализует управление по отдельным степеням подвижности робота и представляет собой систему управления приводами

Схема системы управления роботом, изображенная на рис.5.2, является упрощенной. На ней не показаны все прямые связи выходов отдельных уровней управления со входами нижних уровней, кроме ближайшего, а также обратные связи выходов нижних уровней со входами верхних (в том числе информация о завершении отдельных заданий, об аварийных ситуациях и т.п.). На схеме не отражены информационные связи отдельных уровней с пультом управления, которые обеспечивают передачу информации о функционировании робота человеку-оператору.

Человек-оператор принципиально может взаимодействовать с роботом на любом уровне иерархии управления. Человек-оператор может выдавать задания роботу непосредственно на уровень У1 путем командного управления каждым приводом отдельно. Такое управление является весьма трудоемким и требует большого навыка. Временное запаздывание в канале связи (например, при управлении космическим манипулятором) еще более усложняет работу в этом режиме. В связи с этим к нему прибегают только в тех случаях, когда по каким-либо причинам другие способы управления

оказываются неприемлемыми.

При управлении роботом через уровни У2 и У3 человек-оператор заменяет уровень У4, задавая на их входы наименования (коды) подлежащих выполнению программно (на У2) или адаптивно (на У3) элементарных операций, после чего следит за их автоматическим выполнением. Такое управление называется супервизорным. Аналогичным образом человек-оператор может управлять и через уровни У4 и У5, задавая уже не элементарные операции, а более сложные законченные технологические процессы.

Развитием супервизорного способа управления является интерактивное управление, которое включает двухсторонний обмен информацией между человеком и роботом в виде диалога. Робот, получив очередное задание от человека, в свою очередь запрашивает его о необходимых уточнениях или информирует о необходимости откорректировать задание, чтобы сделать его выполнимым. Этот режим управления, таким образом, максимально упрощает функции и уровень умения человека-оператора за счет соответствующего алгоритмического усложнения системы управления робота вплоть до наделения его искусственным интеллектом.

Вернемся теперь к системам адаптивного управления роботов. Согласно обобщенной схеме на рис.5.2 такая система должна включать не менее трех уровней управления – У1, У2 и У3. Собственно адаптивное управление реализуется уровнем У3 через уровень программного управления У2 или непосредственно воздействуя на уровень системы приводов У1. В зависимости от степени сложности технологических операций, выполняемых роботом в адаптивном режиме, т.е. с использованием сенсорной информации, система адаптивного управления может включать и остальные верхние уровни управления У4 и У5. Однако обязательной принадлежностью эти уровни являются для системы интеллектуального управления, которая рассматривается в следующем параграфе 5.4.

В качестве примера задачи уровня адаптивного управления У3 рассмотрим элементарную операцию взятия манипулятором произвольно расположенной детали, например, для последующего выполнения операции сборки. Для выполнения этой операции необходимо последовательно произвести следующие действия:

- 1) определить координаты геометрического центра детали и ее ориентацию в пространстве;
- 2) рассчитать траекторию движения схвата к детали в трехмерном пространстве рабочей зоны;
- 3) пересчитать траекторию движения в систему относительных координат приводов робота;
- 4) отработать рассчитанную траекторию;
- 5) произвести взятие детали;



Рис.5.3. Схема алгоритма взятия произвольно расположенного предмета.

- 6) рассчитать траекторию движения схвата манипулятора с деталью в заданное конечное место;
- 7) пересчитать эту траекторию в систему координат робота;
- 8) отработать эту траекторию.

Для установления координат деталей и их ориентации можно использовать различные технические средства, рассмотренные в параграфе 3.5. Например, при транспортировке деталей с помощью конвейера с целью автоматического определения координат деталей можно применить линейку с фотодатчиками, установленную над лентой конвейера. При наличии на обозреваемом поле нескольких деталей необходимо произвести их идентификацию.

Для взятия детали, координаты и ориентация которой уже определены, следует подвести схват робота к детали. При отсутствии ограничений наиболее быстрым является перемещение схвата по прямой, соединяющей исходное и требуемое положения схвата, с равномерным изменением его ориентации. После размещения схвата над деталью робот закрывает схват и опускает его до тех пор, пока не сработает датчик наличия детали в схвате. По его сигналу робот закрывает схват. Далее производится расчет траектории переноса детали в заданную конечную точку рабочей зоны. Схема описанного алгоритма взятия произвольным образом ориентированных деталей и их переноса изображена на рис.5.3.

5.4. Система интеллектуального управления.

Интеллектуальное управление – это следующий после адаптивного управления наивысший в отношении алгоритмических возможностей тип управления. Робототехника является одной из областей применения такого управления, которое в теории управления в настоящее время находится в стадии становления.

В теории адаптивного управления в результате развития от простого к более сложному стремясь обеспечить автоматическое управление в условиях все большей неопределенности и изменчивости объекта управления и внешней среды сперва был разработан раздел самонастраивающихся систем управления (с автоматической настройкой параметров при неизменной структуре системы), а затем — раздел самоорганизующихся систем управления (с автоматическим изменением структуры систем). В рамках самоорганизующихся систем развивалась теория самообучающихся систем управления, посвященная наиболее совершенной форме управления в современной теории управления, которую можно рассматривать как первый шаг к интеллектуальному управлению, поскольку в ее основе лежат идеи формирования целей управления,

принятия решений и планирования поведения. Как было уже указано в главе 2, при рассмотрении управления движением в живых организмах, эти идеи являются обязательными компонентами интеллектуальной деятельности.

Описанная в предыдущем параграфе обобщенная пятиуровневая система управления оцувствленным роботом, по существу, повторяет структуру системы управления движением человека (см.рис.2.11). Как было показано выше, верхний, пятый уровень этих систем определяет алгоритмические возможности системы в целом, ее интеллектуальный потенциал.

Под интеллектом (см.параграф 2.5) понимается общая, в основном врожденная познавательная способность, включая умение обрабатывать информацию о внешней среде с построением ее моделей и использовать эту информацию для планирования поведения в условиях заведомой неполноты информации и непредсказуемо изменяющейся внешней обстановки.

Принципиальное различие интеллекта искусственного и естественного заключается в том, что первый имитирует естественный интеллект только в части решения определенного типа творческих задач, в то время как естественный интеллект значительно универсальнее и многограннее и включает прежде всего такие аспекты, как социальную обусловленность, мотивацию и эмоциональность.

К типичным таким задачам искусственного интеллекта относятся, например, игровые (шахматы, домино и т.п.) и другие подобные задачи, где невозможен полный перебор вариантов, доказательство теорем, перевод с одного языка на другой. Фундаментальной проблемой искусственного интеллекта является создание модели человеческого мозга и разгадка процесса его мышления.

В создании искусственного интеллекта можно выделить два принципиально различных подхода. Первый подход заключается в разработке общего теоретического решения проблемы на основе адекватного математического аппарата. Работы в этом направлении ведутся, в частности, с использованием лингвистического подхода и теории нечетких множеств. Второй подход близок к эволюционному пути развития естественного интеллекта и заключается в постепенном накоплении частных эвристических находок для решения отдельных конкретных практических задач. Предполагается, что сумма таких частных решений даст по мере их накопления постепенное повышение уровня искусственного интеллекта, а затем откроет качественно новые возможности, прежде всего в результате создания системы самоусовершенствующегося интеллекта. В области робототехники на сегодня наиболее перспективным представляется именно такое последовательное накопление решений конкретных задач.

Естественный интеллект – это способность приобретать и целенаправленно использовать знания. Это значит, что интеллект предполагает наличие хорошо организованной памяти. Человеческие знания

как и сам окружающий мир нечетки и зачастую противоречивы, хотя, конечно, содержат и вполне однозначные четкие фрагменты. Выражаются образно на естественном языке, а их обработка осуществляется параллельно и объемно.

Соответственно программа создания искусственного интеллекта включает два аспекта – программно-алгоритмический и аппаратный. Первый аспект заключается в создании баз знаний на языке высокого уровня близком естественному и алгоритмов работы с ними, основанных на нечетких представлениях и параллельной обработке. Это требует принципиально нового аппаратного обеспечения, которое в отличие от современных «фон-неймановских» компьютеров должно быть подобно нейронным структурам живых организмов.

Сегодня интеллектуальные системы строятся как биотехнические системы, включая системы интеллектуального управления, пока обладают весьма ограниченными интеллектуальными возможностями. В них используют теорию нечетких множеств и нечеткой логики, различные эвристические алгоритмы и технологии экспертных систем, ассоциативной памяти и технических нейронных сетей (обычно в комбинации) [15,16]. Ведутся работы по созданию так называемых нечетких компьютеров, которые оперируют нечеткими данными и выводами. Это требует создания новой нечеткой элементной базы и соответствующего программного обеспечения.

Главная сфера применения интеллектуального управления – это прежде всего сложные и большие объекты и системы, для которых доступно описание только на семиотическом уровне. К ним прежде всего относятся биотехнические системы включающие человека. Поскольку такие системы обладают естественным интеллектом, управление ими может быть так же только интеллектуальным. Вместе с тем интеллектуальное управление может потребоваться и для достаточно простых объектов, если с их помощью решаются интеллектуальные задачи или если сама задача управления ими требует интеллектуального подхода в силу, например, сложности внешних условий. В робототехнике искусственный интеллект может потребоваться прежде всего для решения следующих задач:

- обработка сенсорной информации (фильтрация, сжатие информации, распознавание образов);
- создание моделей внешней среды;
- планирование поведения;
- управление движением;
- создание интеллектуального интерфейса между человеком-оператором и роботом.

Между системами интеллектуального и адаптивного управления нет резкой границы. Интеллектуальные системы являются результатом развития адаптивных систем в направлении расширения возможностей автономного

выполнения все более сложных заданий во все более неопределенной среде и при все большей неполноте информации, требующейся для выполнения этих заданий. В ходе этой эволюции к настоящему времени созданы пока только адаптивные системы с некоторыми элементами искусственного интеллекта в виде способности воспринимать и анализировать достаточно сложную и изменяющуюся внешнюю среду и принимать адекватные решения по поведению. Для качественного скачка в направлении создания полноценных интеллектуальных систем требуется, как сказано выше, прежде всего новое аппаратное обеспечение на принципиально новой элементной базе.

Повышение уровня искусственного интеллекта связано прежде всего с развитием иерархической структуры моделей среды путем формирования все более обобщенных, более абстрактных уровней ее представления. Соответственно будет развиваться и иерархия в системах, решающих перечисленные выше задачи путем перехода от образов внешней среды, непосредственно воспринимаемых сенсорами системы, ко все более абстрактным образам. Следствием этого будет расширение функциональных возможностей робота благодаря возможности автономного решения все более сложных неалгоритмируемых интеллектуальных задач, включая самоусовершенствование в процессе активного взаимодействия с внешней средой при решении конкретных задач.

Одним из наиболее обобщенных типов моделей среды являются логико-лингвистические модели. Они применяются для наиболее сложных объектов с неоднозначной реакцией на одни и те же ситуации, которые не могут быть описаны формально математически и поэтому описывается эвристически на основе экспертных оценок на языке близком естественному. Примеры таких объектов управления – это прежде всего системы, включающие людей. Методы искусственного интеллекта могут применяться в системах управления не только в общесистемном контуре управления, т.е. для формирования управления, но и для решения различных локальных задач отдельных подсистем робота. В этом случае процесс управления роботом, естественно, не становится интеллектуальным, подобно тому, как в системах адаптивного управления наличие внутренней адаптации в отдельных частях системы не делает управление в целом адаптивным. (В этом смысле следует отличать термин «система интеллектуального управления» от более общего термина «интеллектуальная система», который относится к системам, использующим искусственный интеллект для решения любых задач).

На рис.5.4 показана обобщенная схема системы интеллектуального управления роботом, которая представляет собой конкретизацию общей схемы управления оцувствленного робота на рис.5.2 в части применения искусственного интеллекта при решении перечисленных выше пяти задач. В центре схемы находится блок памяти, двусторонне связанный с другими

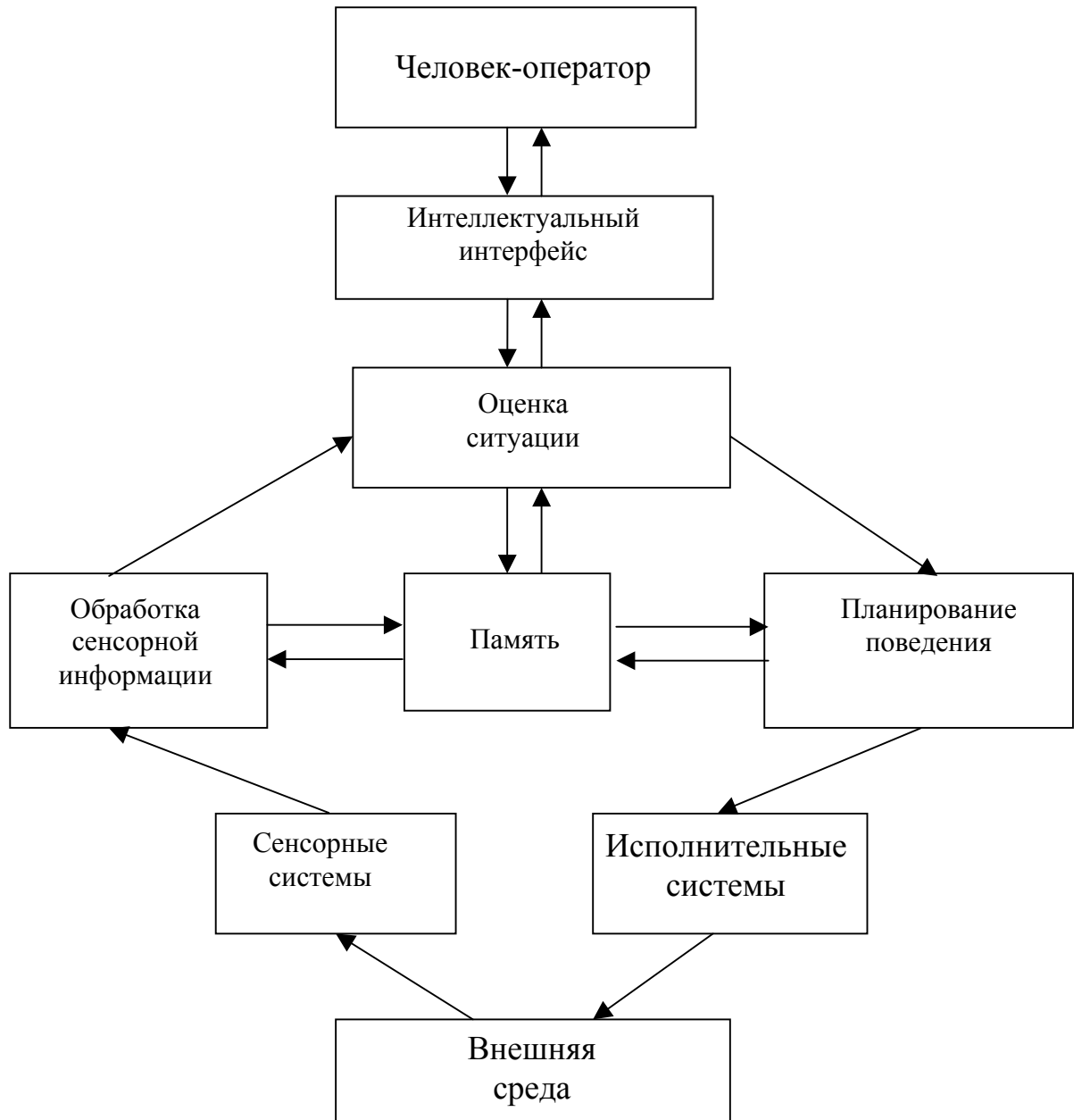


Рис. 5.4. Схема системы интеллектуального управления роботом

системами, перерабатывающими информацию. В этот блок входит база знаний о внешней среде – иерархическая модель внешней среды и база данных как о внешней среде, так и о самом роботе и об операциях, которые он должен выполнять. Кроме того, специализированные оперативные базы знаний и данных, связанные с этой центральной памятью, могут иметься и в отдельных системах робота.

База знаний о внешней среде содержит как априорную информацию, вводимую до начала работы, так и оперативную сенсорную, которая

приобретается в процессе восприятия окружающей среды при выполнении роботом заданных действий, а так же в процессе его специальных познавательных действий для изучения этой среды. Сама информация включает описание геометрических и других физических характеристик объектов среды и их взаимосвязь. Это описание имеет иерархическую структуру. Например, описание рабочей зоны манипулятора включает набор планов всей зоны и ее частей, различающихся как масштабом и соответственно точностью, так и степенью обобщения первичной сенсорной информации (выделение линий, контуров, поверхностей, объектов, групп объектов).

Введение в эти планы (карты) времени как параметра дает картину внешней среды в динамике с учетом взаимодействия ее объектов друг с другом и с роботом. База знаний о внешней среде содержит так же правила, позволяющие моделировать возможные изменения этой среды. Сами знания представляются в виде логических и сетевых моделей среды. Логические модели основаны на аппарате математической логики и прежде всего на исчислении предикатов. Модель строится из системы базовых элементов и системы правил и аксиом. В сетевых моделях вершины сети соответствуют объектам среды, а дуги отношениям между ними. Применяются сети фреймов, описывающих объекты среды, и семантические сети.

Все другие блоки схемы, как уже говорилось, так же имеют иерархическую структуру, уровни которой соединены друг с другом по вертикали снизу вверх. В свою очередь показанные на схеме соединения блоков осуществляются многоканально между одноименными уровнями по горизонтали.

Блок обработки сенсорной информации получает из блока памяти экстраполяцию изменения состояния внешней среды, а передает в него коррекцию этого состояния на уровне непосредственной сенсорной картины среды.

Блок оценки ситуации и блок планирования поведения получают из блока памяти текущую модель внешней среды, а передают в него соответственно ее оценку по определенным критериям и синтезированный план управления движением робота. При синтезе этого плана применяется различные способы решения задач, разработанные в рамках искусственного интеллекта, в том числе

- поиск решения в пространстве состояний (путем нахождения последовательности преобразования исходного состояния в конечное целевое);
- сведением задачи к подзадачам (путем последовательного разбиения задачи на подзадачи вплоть до элементарных, решение которых известно);
- поиск в форме решения теоремы (путем формулирования задачи как теоремы и ее решения (доказательства) на базе системы аксиом).

Блок интеллектуального интерфейса в общем случае должен быть двусторонне связан со всеми перечисленными выше функциональными блоками.

Обратим внимание на ту особенность рассмотренной обобщенной схемы системы интеллектуального управления, как и общей схемы на рис.5.2, что в ней отсутствует в явном виде блок, ответственный за реализацию способа интеллектуального управления, как это имеет место для адаптивного и программного управления. Объясняется это тем, что искусственный интеллект распределен по всем функциональным блокам схемы в соответствии с перечисленными выше функциями, при реализации которых он может требоваться. В конкретных системах он может присутствовать в любом из этих блоков. Именно поэтому вместо термина «системы интеллектуального управления» нашел распространение термин «интеллектуальные системы управления».

В настоящее время применение искусственного интеллекта в системах управления роботами, как уже отмечалось, начинается с введения элементов искусственного интеллекта в системы адаптивного управления на основе применения перечисленных выше интеллектуальных технологий.

5.5. Особенности управления средствами передвижения роботов.

Управление передвижением мобильных роботов - это чисто транспортная задача, которая не имеет принципиальной специфики применительно к робототехнике. Это относится и к самой системе передвижения роботов за исключением маломощных транспортных машин, которые в силу близости их педипуляторов («ног») к манипуляторам традиционно являются специальным разделом робототехники. Однако и этот предмет выходит за рамки настоящего общего курса управления роботами. Поэтому здесь мы остановимся только на особенностях управления передвижением роботов по сравнению с управлением манипуляторами.

Так, рассмотренные в этой главе схемы адаптивного и интеллектуального управления в равной мере относятся к управлению приводами как манипуляторов, так и средств передвижения роботов. Однако последний случай имеет свою специфику, связанную прежде всего с особенностями зоны передвижения по сравнению с рабочей зоной манипулятора, особенно если задача состоит в передвижении по заранее неизвестной, неподготовленной трассе и на значительные расстояния.

Рассмотрим эти особенности применительно к мобильным роботам, передвигающимся по произвольной местности. В этом случае модель этой среды представляет собой карту местности, которая помимо априорных сведений составляется и уточняется в ходе движения на основе сенсорной

информации (радиотехнические, лазерные, ультразвуковые локаторы, системы технического зрения). Эта модель должна иметь как минимум два уровня по масштабу: один в пределах досягаемости сенсорных систем и второй для местности непосредственно перед роботом. Первая модель местности служит для прокладки маршрута движения в соответствии с заданной целью. Варианты целей: поиск конкретных объектов (по заданным признакам), достижение определенной точки на местности, заданной координатами, движение по заданному маршруту, например, для выполнения определенной технологической операции (инспекция, нанесения покрытия, очистка и т.д.).

Вторая более подробная модель ближайшего участка местности необходима для уточнения трассы непосредственно перед роботом, включая обход мелких и скрытых препятствий, неотмеченных на общей карте местности первого уровня, и обеспечения безопасности движения.

Однако для гарантированного решения последней задачи этого может оказаться недостаточно и тогда применяется специальная система обеспечения безопасности, которая контролирует углы наклона шасси робота, не допуская превышения их критических значений, определяемых условиями опрокидывания, опасные вертикальные провалы и трещины непосредственно перед роботом, оценивает свойства грунта в отношении его проходимости и, наконец, если возможно появление подвижных препятствий, обеспечивает аварийную остановку робота по сигналу дистанционного или контактного датчика препятствий непосредственно перед роботом.

На рис.5.5 приведена типовая схема системы управления движением мобильного робота. Блок управления движением БУД осуществляет управление тяговыми приводами и приводами повтора шасси. Блок построения маршрута синтезирует траекторию движения, оптимизируя ее, обычно, по минимуму расхода энергии, что особенно важно для роботов с автономным энергопитанием, или по минимуму времени выполнения задания, когда в постановку задачи входит условие обеспечения максимального быстродействия. Блок построения карты местности представляет ее в форме, удобной для решения задачи выбора маршрута, в частности, с выделением непреодолимых препятствий и опасных или неясных участков. Если выполнение задачи требует знания большего участка местности, чем дают сенсорные системы в начальном положении робота, т.е. до начала движения, карта местности формируется и передается в блок построения маршрута фрагментами по мере передвижения робота. Такими же участками последовательно осуществляется и синтез траектории движения. В этом случае первое приближение для всей траектории делается по имеющейся априорной информации о местности или, как минимум, определяется только общее направление движения.

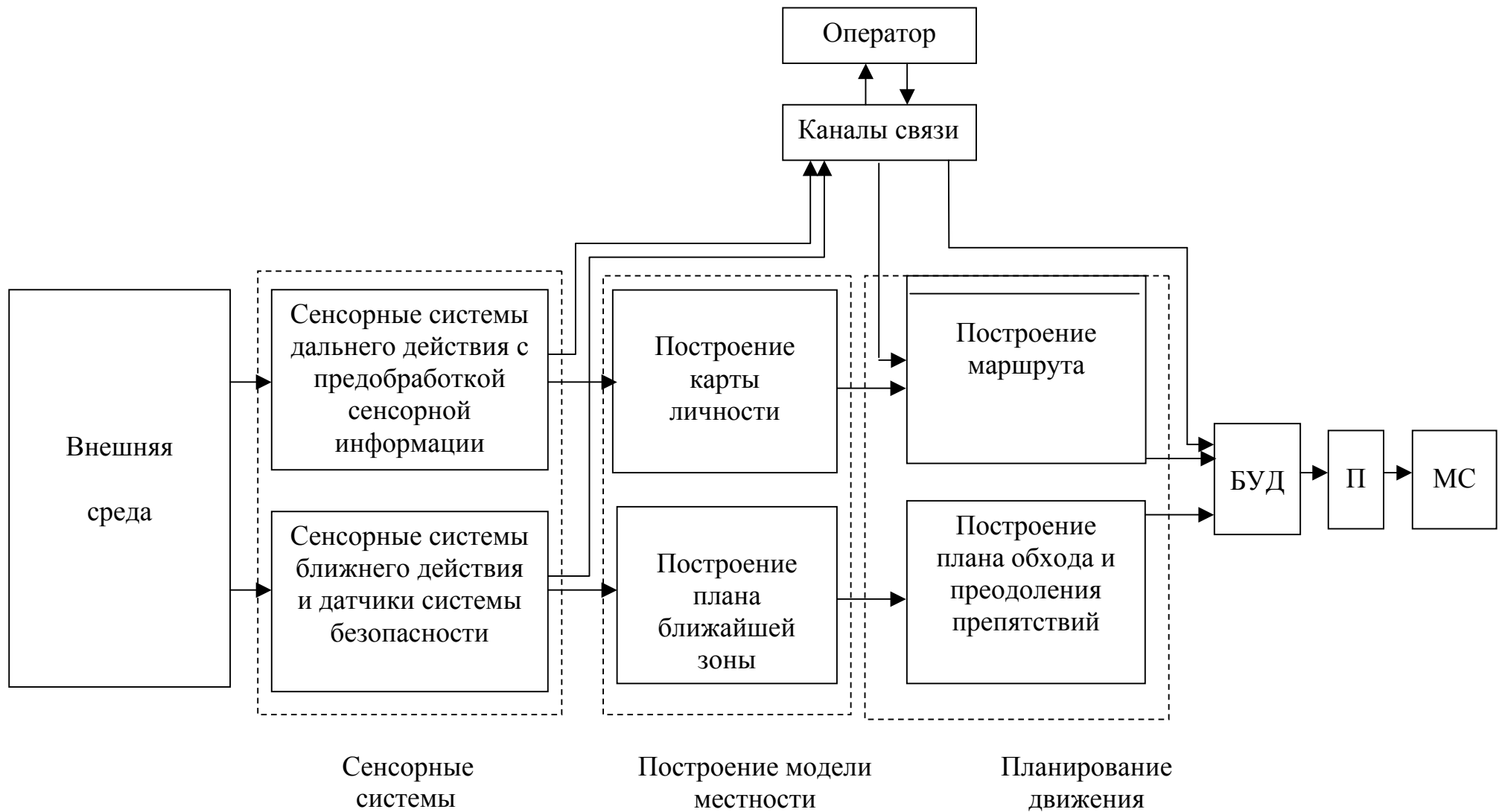


Рис. 5.5. Функциональная схема системы управления движением по местности мобильного робота:
 БУД – блок управления движением

На нижнем общесистемном уровне системы управления находится канал управления движением в ближней зоне, включающий наиболее детальную модель этой зоны и реализующий алгоритмы обеспечения безопасности движения.

Требуемый уровень адаптации и искусственного интеллекта системы определяется степенью неопределенности и сложности местности и характером подлежащих выполнению заданий, т.е. назначением робота. В последнем отношении основное значение имеет минимально необходимая степень автономности управления роботом, определяемая перечнем его действий, которые должны выполняться без участия человека-оператора. При этом учитывается и возможность временной потери связи с оператором, ограниченная пропускная способность каналов связи, неполнота и ограниченная достоверность получаемой оператором от робота информации и ее задержка во времени. Например, если из-за высокого уровня помех в канале передачи оператору не видно изображения панорамы местности перед роботом оператор только эпизодически получает эту информацию, он имеет возможность вмешиваться в автономное движение робота только в порядке контроля и корректировки маршрута движения путем целеуказания отдельных промежуточных точек трассы в моменты ее достоверного наблюдения.

5.6. Системы группового управления роботами.

Робот функционирует, как правило, не изолированно, а совместно с другим оборудованием, в том числе с другими роботами. В связи с этим одной из важных характеристик систем управления роботами является возможность реализации различных вариантов группового управления. Это относится и к управлению несколькими манипуляторами одного робота. Специфика управления манипуляторами одного робота состоит в наличии пространственных и временных ограничений на движения отдельных манипуляторов, которые конструктивно находятся на одном основании и рабочие зоны которых могут пересекаться.

Простейшим вариантом группового управления является управление несколькими автономно действующими манипуляторами. В этом случае каждый манипулятор совершает автономные действия, т.е. не связанные в пространстве и во времени с другими манипуляторами. Примером такого управления может служить управление группой роботов, выполняющих операции по обслуживанию не связанных единиц технологического оборудования.

Следующим вариантом группового управления является такое же управление с наложенными временными взаимными связями на движения манипуляторов. В простейших случаях эти связи сводятся к установлению определенной последовательности выполнения каждым манипулятором