

внутренними рецепторами мышцы и сухожилий, и расположенного между ними слоя, осуществляющего обработку информации и запоминание готовых программ реакций на определенные воздействия. В простейшем случае эти промежуточные слои могут отсутствовать, и тогда мотонейроны замыкаются прямо на рецепторы.

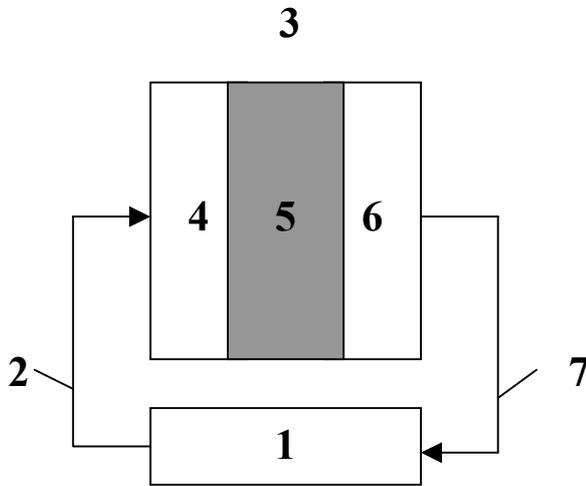


Рис.2.9. Спинальный рефлекторный путь управления одним звеном тела:
1 – мышца; 2 – вход; 3 – сегмент спинного мозга; 4 – сенсорный слой;
5 – слой обработки информации и памяти; 6 – мотонейронный пул; 7 – выход.

Совокупность двух таких систем управления мышцами-антагонистами обеспечивает управление движением отдельного сустава. При этом устройства управления мышцами перекрестно связаны друг с другом сигналами позиционной обратной связи по длине мышцы: сигналы от этих рецепторов (мышечных веретен) сокращаемой мышцы помимо воздействия по цепи обратной связи на α -мотонейроны своей мышцы и, обеспечивая ее сжатие в соответствии с заданием, одновременно воздействуют с обратным знаком на α -мотонейроны мышцы-антагониста, снижая ее возбуждение, т.е. ослабляя ее сжатие и тем самым уменьшая противодействие сокращающейся мышцы. При подходе к заданному положению сустава, когда необходимо осуществить торможение, мышцы меняются ролями и на мышцу-антагонист подается сигнал на сокращение.

Движение любого сустава можно описать следующим уравнением:

$$[p^2 + a(t)p + b(t)]x(t) = [c(t)p^2 + d(t)p + e(t)]u[t - \tau(t)] + f(t) \quad (2.1)$$

где $x(t)$ – перемещение сустава,

$u(t)$ – управляющее воздействие,

$\tau(t)$ – временная задержка,

$f(t)$ – неизвестное возмущающее воздействие,

p – символ дифференцирования по времени.

Коэффициенты $a(t)$, $b(t)$, $c(t)$, $d(t)$, $e(t)$ изменяются во времени в зависимости от предыдущего и текущего состояний мышц, мотонейронов и рецепторов. В связи с этим для обеспечения качественного процесса управления здесь реализовано

адаптивное управление с применением пробных воздействий для уточнения значений параметров системы. Для этого управляющее воздействие $u(t)$ содержит две составляющие:

$$u(t) = v(t) + w(t)$$

где $v(t)$ – собственно управляющее воздействие, поступающее с верхнего уровня системы управления;

$w(t)$ – пробное воздействие.

Пробное воздействие представляет собой небольшой дозированный короткий импульс, который подается одновременно с управляющим воздействием $v(t)$ или несколько предваряет его. Реакция на это пробное воздействие, выявленная рецепторами, передается на уровень управления, где формируется управляющее воздействие. Там она сравнивается с ожидаемой реакцией и по их расхождению корректируется управляющее воздействие $v(t)$. В тех случаях, когда не задается время выполнения движения, адаптация может сводиться только к определению правильного знака $v(t)$, чтобы движение началось в нужном направлении. При этом управление может осуществляться не по отклонению от задания, а по скорости перемещения с торможением при достижении заданной позиции. Последний момент может определяться в том числе с помощью внешних рецепторов (зрение и т.д.).

В целом алгоритмы управления движением суставов могут быть различными и выбираются в зависимости от стоящей задачи. На рис. 2.10 в общем виде показана функциональная схема системы управления суставом.

Рефлекторное связанное управление несколькими звеньями тела. Это второй динамический уровень управления, который обеспечивает совместное целенаправленное движение звеньев одной или нескольких конечностей, причем без использования сенсорной информации о внешней среде, т.е. тоже в виде рефлекторного управления, как и управление отдельными звеньями.

Связанное управление двумя конечностями осуществляется путем управления со стороны одного сегмента спинного мозга определенными суставами обеих конечностей (внутрисегментарный рефлекс). Помимо сегментов спинного мозга в этом уровне управления участвуют наиболее древние области переднего мозга, в которых на основании информации от внутренних рецепторов, создается общая картина положения всех частей тела и вырабатывается двигательная реакция, которая подается в спинной мозг.

Этот уровень управления, в основном исполнительный, обрабатывает команды вышестоящих уровней. Однако имеются определенные типы движений, для которых этот уровень является самым верхним. Это прежде всего различные ритмичные движения, не требующие оперативной информации о внешней среде, а также поддержание позы и обеспечение мышечного тонуса. В последних случаях в управлении участвуют также нижние отделы мозжечка.

Управление с использованием внешней информации. Этот третий уровень управления ответствен за выполнение движений с использованием информации от внешних рецепторов. В нем участвуют все разделы головного мозга вплоть до самых молодых. При этом он реализуется двумя параллельными путями: через

второй уровень управления и непосредственным воздействием со стороны коры больших полушарий (ее двигательной зоны) на сегменты спинного мозга.

Первый путь — это древний экстрапирамидный путь управления более сложными движениями, которые постепенно осваивались живыми организмами в процессе эволюции и для реализации которых требовалось привлекать все более сложную сенсорную информацию. На основе последней на этом уровне вырабатываются задания для второго уровня и затем оперативно корректируются в ходе их реализации.

Второй, пирамидный путь, возникший всего несколько миллионов лет тому назад, реализует наиболее совершенные и сложные движения, которые не удастся выполнить первым путем на базе ранее освоенных рефлекторных движений.

В целом третий уровень ответствен за ориентацию во внешнем пространстве тела и органов чувств на объекты внешней среды, локомоции и манипуляции, а также на выполнение таких сложных движений, как, например, упражнения на гимнастических снарядах, метание предметов, жонглирование ими, копирующие движения (срисовывание и т.п.).

Примером ориентационных движений являются движения глаз с целью слежения за объектами внешней среды с учетом таких возмущений как перемещение этих объектов, движение тела, изменение положения головы, изменение параметров объектов (яркости, контрастности и т.п.). Эти движения осуществляются глазодвигательной системой, которая содержит три пары мышц-антагонистов.

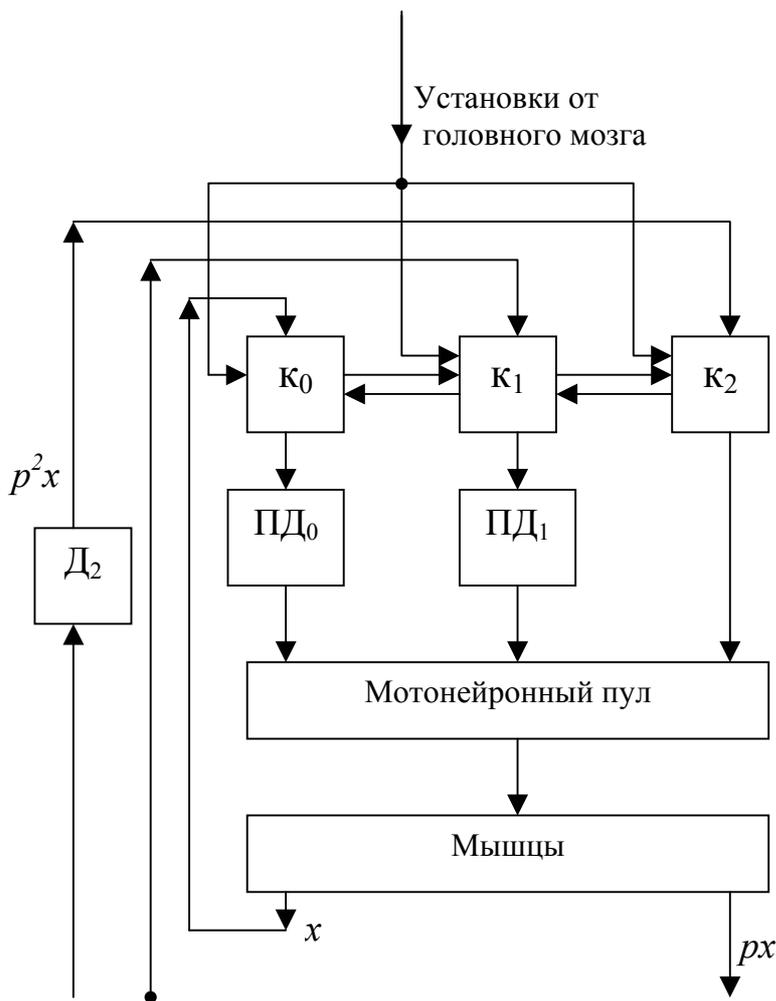


Рис.2.10. Функциональная схема системы управления суставом:

K_0, K_1, K_2 – устройства сравнения, ПД₀, ПД₁ – пропорционально-дифференцирующие звенья, Д₂ – дифференцирующее звено.

Локомоции (ходьба, бег и т.п.), являясь периодическими движениями, реализуются на основе управления мышцами от своих «спинальных генераторов», которые синхронизированы друг с другом на том же сегментарном уровне. Необходимая адаптация к внешним условиям осуществляется прежде всего путем корректирования этих программных движений по сигналам от внутренних рецепторов. Вышестоящие уровни управления корректируют затем локомоции уже с учетом тех внешних условий движения, которые определяются внешними рецепторами, включая перемещение и изменение целей.

Манипуляционные движения отличаются наибольшей ролью в них внешних рецепторов и мотиваций. В коре больших полушарий головного мозга имеются места (сенсомоторная кора), за которыми закреплены определенные сегменты тела и которые осуществляют управление их мышцами на основе получаемой внешней и внутренней информации. Площадь этих мест тем больше, чем сложнее задача управления соответствующим сегментом тела.

В целом все динамические уровни управления движением, действуя совместно, реализуют требуемые движения в виде комбинации следующих трех составляющих:

грубые и быстрые рефлекторные (программные) движения без обратной связи по внешней информации (первый и второй уровни);

такие же стереотипные движения, но комбинируемые и корректируемые в функции от внешней информации (экстрапирамидный путь третьего уровня);

наиболее тонкие и точные движения, выполняемые непосредственно в функции от текущей внешней информации (пирамидный путь третьего уровня).

Последний вариант управления требует максимального участия головного мозга и используется только в тех случаях, когда заданное движение не удастся свести к рефлекторным. Кроме того, в случае необходимости он резервирует предыдущие варианты, а также участвует в отработке новых программ (формирование новых рефлекторных дуг) наряду с экстрапирамидным путем. Такой процесс обучения можно представить следующим образом. Вначале требуемое новое движение многократно осуществляется путем управления мышцами непосредственно от высших двигательных центров. Одновременно запоминаются и усредняются синтезированные при этом управляющие воздействия на отдельные мышцы. В результате формируется готовая двигательная реакция на задание сверху и, соответственно, верхние уровни освобождаются от управления отдельными мышцами, передавая эту функцию нижним уровням. Эти вновь приобретенные в порядке обучения программы хранятся и реализуются третьим уровнем управления.

Описанное иерархическое управление движениями наряду с такими очевидными достоинствами, как максимальное быстрое действие реакций

(отдернуть руку и т. п.), возможность обучения и разгрузка вышестоящих уровней для решения наиболее сложных задач, имеет и определенные недостатки. При таком управлении движения зачастую получаются неоптимальными и не используются все возможности двигательной системы организма.

Путем управления мышцами непосредственно сверху можно не только получать лучшее качество движений, но и осуществлять принципиально новые типы сложных движений, не реализуемых с помощью экстрапирамидного пути, где этому препятствует набор врожденных и приобретенных стереотипных программных движений. Именно поэтому часто при освоении новых типов движений на производстве и в спорте главным препятствием является преодоление ранее сложившихся рефлекторных движений. (Известно, как трудно двумя руками одновременно выполнять различные движения, хотя «технические» возможности рук явно это позволяют).

2.4. Тактический уровень управления движением.

На этом уровне составляется план достижения той очередной цели, которая определяется для него вышестоящим стратегическим уровнем управления. Отсюда этот план в виде конкретного алгоритма движений с выделением тактических подцелей и последовательности их достижения спускается для реализации на динамические уровни. Со стороны тактического уровня осуществляются непрерывный контроль и в случае необходимости оперативная корректировка заданных алгоритмов при изменении реальной ситуации. Реализуется этот уровень корой больших полушарий головного мозга (ее ассоциативными областями), т. е. в полной мере он свойствен лишь человеку и только у самых высших животных существует в зачаточном состоянии.

Тактические подцели, которые намечаются на этом уровне и под его руководством реализуются, требуют осмысленных движений. К ним относятся прежде всего движения с предметами для воздействия на внешнюю среду с целью ее изменения нужным и заранее спрогнозированным образом. Примерами подобных действий могут быть такие производственные операции с применением орудий труда, как сварка, сборка, а также вязание спицами, работа хирурга, письмо. Такими же осмысленными действиями, но без предметов являются, например, массаж и речь.

Тактический уровень — это высший уровень управления для подобных целенаправленных движений, реализующий их путем разбиения на более простые движения, которые затем уже «бездумно» исполняются нижележащими исполнительными уровнями. В зависимости от того, какая при этом необходима информация, управляющие воздействия с тактического уровня поступают на различные нижние уровни. Например, движения хирурга, поскольку требуется зрительная информация, реализуются через третий уровень динамического управления, вязание спицами, где необходима только внутренняя информация, — через второй уровень, а письмо — в значительной степени прямо через первый уровень.

До выбора тактики достижения заданной сверху цели и составления соответствующего плана действий требуется знать внешнюю обстановку и состояние организма. Для этого служат модели внешней среды и самого тела в ней, которые формируются и непрерывно корректируются на основе всей полученной сенсорной информации. При этом для каждой конкретной цели, заданной сверху (со стратегического уровня), эти модели преобразуются, ориентируясь на эту цель путем выделения наиболее существенных для ее достижения особенностей и деталей.

В соответствии с задачами, решаемыми на этом уровне, используемая здесь, сенсорная информация предварительно перерабатывается таким образом, что содержит уже не количественные, а качественные, т. е. смысловые, характеристики объектов. Иными словами, здесь используются не метрика предметов и действий с ними (размеры, расстояния, масса и т. д.), а их топология и понятия (буква, стул и т. п.).

В параграфе 2.2 было показано, как происходят отображение и последовательное преобразование зрительной и другой сенсорной информации слоями нейронов в соответствующих сенсорных областях коры с целью выделения наиболее существенных для данной задачи объектов и признаков. По существу, эти многослойные топологически увязанные отображения являются моделями среды и тела, основанными на определенном виде сенсорной информации. Эти частные модели объединяются в ассоциативных областях коры, в слоях которой производятся затем указанные выше целенаправленные преобразования этих моделей с переходом от непосредственных чувственных образцов к более абстрактным. В ходе составления тактического плана достижения поставленной конкретной цели его варианты «проигрываются» на модели среды и тела, а после выбора окончательного плана составляется прогнозируемая модель будущего состояния среды и тела. Когда в процессе выполнения плана возникают расхождения с прогнозом, на тактическом уровне осуществляется оперативная корректировка плана.

Выше было указано, что уровень тактического управления ответствен за целенаправленные осмысленные движения. Однако это не означает, что все такие движения осуществляются сознательно по непосредственным командам головного мозга. Как раз наоборот, для этого уровня характерно стремление к максимальной автоматизации движений на основе обучения, в том числе с помощью сознательно выполняемых упражнений и тренировок. При составлении планов выполнения очередной задачи прежде всего используется весь имеющийся в памяти врожденный и приобретенный опыт решения аналогичных задач в сходных ситуациях в виде готовых алгоритмов действий.

2.5. Стратегический уровень управления движением.

Это высший уровень во всей иерархической системе управления движением. Здесь определяются цели и осуществляется контроль за реализующими их действиями, включая оперативную корректировку этих действий и самих целей в

зависимости от эффективности процесса их достижения, внешних и внутренних условий. Наконец, после завершения действий здесь оцениваются достигнутые результаты. Этот уровень и сам непосредственно участвует в реализации наиболее сложных и новых движений. Примерами их являются речь, письмо.

Выбор целей поведения осуществляется исходя из потребностей с учетом сравнительной оценки их важности, степени реальности и возможного качества их удовлетворения. Потребности проявляются в виде чувств (биологических и социальных, врожденных и приобретенных, инициированных извне или возникших в самом организме — голод, опасность, продолжение рода, любопытство, свободолюбие, справедливость и т. д.). Предельно сильным проявлением чувства являются эмоции (гнев, ужас, восторг и т. п.).

Существующие в данный момент потребности поступают в виде чувств в ассоциативные области коры больших полушарий головного мозга из лимбической системы в качестве мотиваций последующих действий. Там из них выбирается важнейшая, т. е. принимается решение о ближайшей цели поведения, которая затем реализуется через подчиненные уровни управления движением.

Процедуру выбора доминирующей мотивации можно представить следующим образом. Сигналы об отдельных потребностях вызывают из памяти в ассоциативные области коры соответствующие алгоритмы (модели действий, направленных на их удовлетворение). Последние, как и сенсорные модели, представляют собой возбужденные зоны нейронных слоев, которые отображают соответствующие управляющие воздействия на нижележащие уровни управления. Из всех этих порой противоречивых вариантов управления, возбужденные зоны которых при этом взаимно тормозят друг друга, пробивает дорогу вниз к реализации тот вариант, которому соответствует наиболее мощная, т.е. доминирующая над другими, возбужденная зона. Таким образом, выбор доминирующей мотивации осуществляется как бы голосованием нейронов ассоциативной области коры. Например, при внезапном обнаружении какой-либо серьезной опасности вызванное ею возбуждение, в том числе, возможно, сразу от нескольких органов чувств, подавит все другие потребности (чувства) и переключит действие организма на соответствующую этой новой эмоции реакцию (бежать, принять угрожающую позу и т.п.).

В течение времени, когда в ассоциативной области доминирует определенная возбужденная зона, эта зона является временным центром управления поведением организма вплоть до достижения сформированной цели, т.е. до удовлетворения соответствующей основной потребности или до подавления этого центра появившейся более обширной зоной возбуждения, требующей других действий. Критерием оптимальности при оценке степени достижения поставленной цели является чувство удовлетворения соответствующей основной потребности. На стратегическом уровне выбранная основная цель может быть разбита на отдельные подцели, которые последовательно по мере их достижения выдаются на тактический уровень как самостоятельные цели. Работа тактического уровня, как упоминалось выше, начинается каждый раз с формирования моделей среды и организма, ориентированных на спущенную очередную цель, и с высвобождения

из памяти отработанных ранее соответствующих планов действий, в которых эта цель в свою очередь разбивается на более мелкие тактические подцели.

Эффективность работы стратегического уровня как наивысшего в иерархии управления действиями организма характеризует уровень его интеллекта в целом. Она определяется степенью оптимальности принимаемых решений, степенью учета при этом различных факторов, могущих влиять на эти решения, и длительностью охватываемого периода времени. Интеллектуальные возможности организма обусловлены прежде всего объемом памяти и эффективностью ее использования. Основным свойством интеллекта является умение упорядочивать и использовать получаемую от рецепторов информацию, том числе для построения моделей внешней среды, прогнозирования ее изменений, принятия на этой основе решений и самоусовершенствования.

На основании рассмотренных выше уровней управления движением на рис.2.11 дана общая функциональная схема иерархической системы управления движениями человека. Здесь, в частности, показаны прямые управляющие воздействия сверху вниз, минуя отдельные промежуточные уровни (пирамидный путь), каналы обратной связи, идущие вверх на входы отдельных уровней управления, и воздействия на модели среды и тела со стороны стратегического и тактического уровней, осуществляющие управление этими моделями для подстройки их под очередную конкретную задачу и для прогнозирования результатов планируемых действий.

Завершая рассмотрение этой системы управления, еще раз обратим внимание на то, что ее нельзя сводить к простому иерархическому управлению сверху вниз, когда каждый уровень реализует порученную ему операцию путем разбиения ее на более мелкие типовые операции, находящиеся в арсенале следующего уровня, и последовательной выдачи ему соответствующих команд. Наряду с таким последовательным иерархическим процессом управления здесь, во-первых, осуществляются, как уже упоминалось, прямые воздействия сверху с пропуском отдельных промежуточных уровней, а, во-вторых, отдельные реакции организма на внешние и внутренние возмущения реализуются без участия верхнего уровня определенным промежуточным уровнем в соответствии с его специализацией. Таким образом, все уровни управления в действительности работают как последовательно, так и параллельно, дополняя и резервируя друг друга.

Основными особенностями материальной реализации рассмотренной системы являются ее многоканальность и избыточность. Выявление информации, ее обработка, запоминание и преобразование в мышечные усилия осуществляются по тысячам и миллионам параллельно действующих каналов из послойно построенных ансамблей нейронов. Эта информация носит вероятностный характер, как и состав обрабатывающих ее ансамблей нейронов, который сам определяется этой информацией. (При этом от слоя к слою каждый вид информации — зрительная, температурная и т.п.— передается тактированно с распределением ее по слою в соответствии с пространственным размещением отображаемых ею объектов в реальной среде.) Такой принцип параллельной обработки сигналов обеспечивает системе в целом необходимые быстродействие и надежность, не

ДОСТИЖИМЫЕ ПОКА В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.

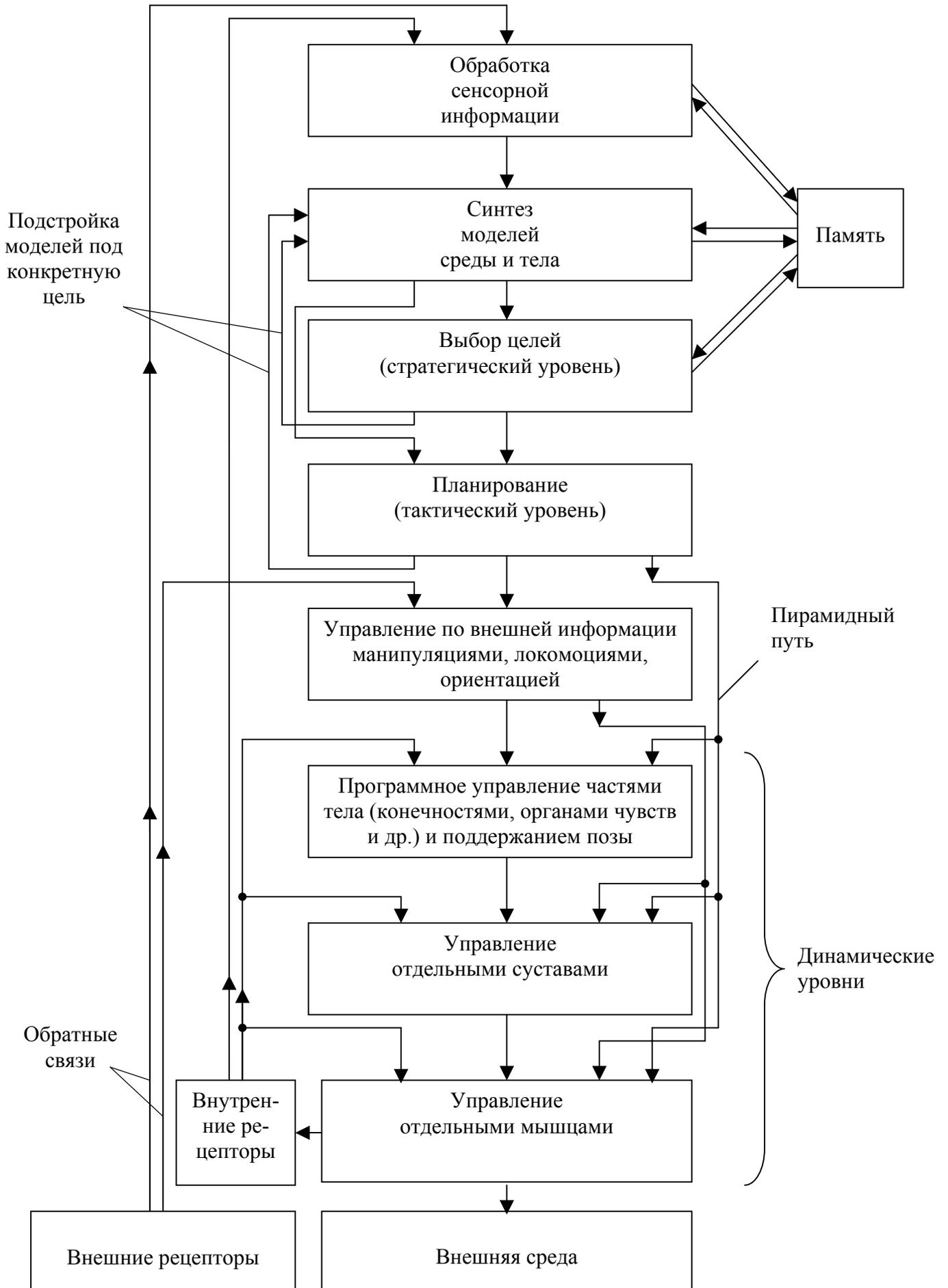




Рис.2.11. Общая функциональная схема иерархической системы управления движениями человека

ГЛАВА 3. УСТРОЙСТВО РОБОТОВ

3.1. Состав, параметры и классификация роботов.

Состав роботов. Как было показано во введении (см.рис. В.1), робот как машина состоит из двух основных частей – исполнительных систем и устройства управления ими с сенсорной системой. В свою очередь исполнительные системы включают одну или несколько манипуляционных систем (обычно в виде механических манипуляторов) и системы передвижения, имеющейся только у подвижных (мобильных) роботов.

Классификация роботов по назначению. Для того чтобы ознакомиться с характеристиками роботов, рассмотрим прежде всего их классификацию по основным показателям, которые определяют тип робота. Первым таким показателем, в соответствии с которым все роботы делятся на наиболее крупные группы, является их назначение, т.е. область применения. Основные области применения роботов были названы в параграфе 1.2. Как там было показано, сфера использования роботов прогрессивно расширяется и соответственно растет перечень типов роботов, определяемых их основным назначением.

Сегодня основным таким типом, по-прежнему, являются промышленные роботы (ПР), которые предназначены для применения в промышленности и составляют до 80 % всего парка роботов в мире. В свою очередь промышленные роботы делятся на ряд типов более узкого назначения (например, робот окрасочный, сварочный, транспортный, для обслуживания станков, прессов, литейных машин и т. д.).

По типу выполняемых операций все промышленные роботы делятся на роботы технологические, которые выполняют основные технологические операции, и роботы вспомогательные, выполняющие вспомогательные технологические операции по обслуживанию технологического оборудования. Технологические роботы относятся к основному технологическому оборудованию, а вспомогательные можно отнести к средствам автоматизации.

По широте перечня операций, для выполнения которых предназначен робот, различают роботы специальные, специализированные и универсальные. Специальные роботы предназначены для выполнения одной конкретной технологической операции (например, конкретную сборочную операцию, обслуживание определенной марки технологического оборудования). Специализированные роботы могут выполнять различные однотипные операции (сборочный робот со сменными рабочими инструментами, робот для обслуживания определенного типа технологического оборудования и т.п.). Универсальные роботы предназначены для выполнения любых основных и вспомогательных операций в пределах их технических возможностей. Увеличение степени универсальности робота соответственно расширяет область его возможных применений, но одновременно неизбежно сопровождается недоиспользованием его возможностей на каждой конкретной операции. Наиболее оптимальными в этом отношении являются

специальные роботы, но с другой стороны это предельно сужает их рынок, а, следовательно, и объем производства.

Классификация роботов по показателям, определяющим их конструкцию.

К таким показателям относят:

- тип приводов робота,
- его грузоподъемность,
- количество манипуляторов,
- тип и параметры их рабочей зоны,
- подвижность и способ размещения,
- исполнение по назначению.

Приводы, которые используются в манипуляторах и системах передвижения роботов, делятся на электрические, гидравлические и пневматические. Часто их применяют в комбинации; например, в звеньях манипулятора большой грузоподъемности используют гидравлический привод, а в его захватном устройстве — более простой и маломощный пневматический привод. Приводы роботов рассмотрены в следующей главе 4.

Грузоподъемность робота — это грузоподъемность его манипуляторов, а для транспортного робота еще и его шасси. Грузоподъемность манипулятора определяется массой перемещаемых им объектов и в зависимости от назначения робота может составлять от единиц грамм (сверхлегкие роботы, например, применяемые в микроэлектронике) до нескольких тысяч килограмм (сверхтяжелые, например, транспортные и космические роботы).

Количество манипуляторов у роботов в большинстве случаев ограничено одним (одноманипуляторные или однорукие роботы). Однако в зависимости от назначения существуют конструкции роботов с двумя, тремя и четырьмя манипуляторами (соответственно двух-, трех- и четырехманипуляторные). Обычно манипуляторы робота выполняют одинаковыми, но имеются конструкции роботов и с разными манипуляторами. Например, существуют промышленные роботы для обслуживания прессов холодной штамповки с двумя разными манипуляторами: один основной для взятия заготовки и установки ее в пресс и другой упрощенной конструкции для выполнения более простой операции сталкивания готовой детали в бункер.

Тип и параметры рабочей зоны манипуляторов робота определяют область окружающего его пространства, в пределах которой робот может осуществлять манипуляции не передвигаясь, т.е. при неподвижном основании. Рабочая зона манипулятора — это пространство, в котором может находиться его рабочий орган при всех возможных положениях звеньев манипулятора. Форма рабочей зоны определяется системой координат, в которой осуществляется движение рабочего органа манипулятора, и числом степеней подвижности манипулятора.

Подвижность робота определяется наличием или отсутствием у него системы передвижения. В первом случае роботы называют мобильными, а во втором — стационарными. В соответствии с назначением роботов в них применяют системы передвижения практически всех известных на сегодня типов: от наземных колесных

и гусеничных до предназначенных для передвижений в воде, глубинах земли, в воздухе и космосе. Специфическим для робототехники способом передвижения является шагание (см. главу 12).

По способу размещения стационарные и мобильные роботы бывают напольными, подвесными (мобильные роботы этого типа обычно перемещаются по поднятому рельсовому пути), встраиваемыми в другое оборудование (например, в обслуживаемый станок) и т. д.

Исполнение робота по назначению зависит от внешних условий, в которых он должен функционировать. Различают исполнение нормальное, пылезащитное, теплозащитное, влагозащитное, взрывобезопасное и т. д.

Классификация роботов по способу управления. По этому признаку различают роботы с программным, адаптивным и интеллектуальным управлением.

Управление движением по отдельным степеням подвижности может быть непрерывным (контурным) и дискретным позиционным. В последнем случае управление движением осуществляют, задавая конечную последовательность точек (позиций) и последующее перемещение по ним шагами от точки к точке без контроля траекторий между этими точками. Простейшим вариантом дискретного управления является цикловое, при котором количество точек позиционирования по каждой степени подвижности минимально, т. е. чаще всего ограничено двумя — начальной и конечной.

Классификация роботов по быстродействию и точности движений. Эти параметры взаимосвязаны и характеризуют динамические свойства роботов. Быстродействие и точность роботов складываются из их значений для манипуляторов и систем передвижения.

Быстродействие манипулятора определяется скоростью перемещения его рабочего органа. Быстродействие манипуляторов у роботов общего применения можно разбить на следующие три диапазона:

- малое — при линейных скоростях до 0,5 м/с;
- среднее — при линейных скоростях от 0,5 до 1-3 м/с;
- высокое — при больших скоростях.

Наибольшая скорость манипуляторов современных роботов достигает 10 м/с и выше.

Для значительной части областей применения роботов этот параметр очень важен, так как предопределяет их производительность. Основная трудность при повышении быстродействия связана с известным противоречием между быстродействием и другим не менее важным параметром — точностью.

Точность манипулятора и системы передвижения робота характеризуется результирующей погрешностью позиционирования (при дискретном движении) или отработки заданной траектории (при непрерывном движении). Чаще всего точность роботов характеризуют абсолютной погрешностью. Точность роботов общего применения можно разбить на следующие три диапазона:

малая — при линейной погрешности от 1 мм и более;
 средняя — при погрешности от 0,1 до 1 мм;
 высокая — при меньшей линейной погрешности.

Наименьшую точность имеют роботы, предназначенные для выполнения наиболее грубых, например, транспортных движений, а наибольшую микронную — роботы, используемые в электронной промышленности.

По сравнению с человеческой рукой существенным недостатком современных роботов пока является снижение точности с увеличением хода манипуляторов, в то время как у человека эти параметры в значительной степени развязаны благодаря разделению движений на грубые (быстрые) и точные (см. главу 2).

Рассмотренные выше параметры роботов относятся к классификационным, т.е. используются при формировании типажа роботов и, соответственно, их наименований (например, легкий пневматический промышленный робот с цикловым управлением для обслуживания прессов в пластмассовом производстве или окрасочный гидравлический промышленный робот с контурным управлением и т.д.)

Параметры, определяющие технический уровень роботов. Наряду с классификационными параметрами работы характеризуются параметрами, которые определяют их технический уровень. К ним относятся и некоторые из рассмотренных выше параметров, которые могут иметь количественное выражение также как быстродействие, точность. Однако если при использовании этих параметров для классификация роботов их разбивают, как было показано выше, на классификационные диапазоны и тип робота определяют по принадлежности значения данного параметра к одному из них, то сравнительную оценку технического уровня робота производят исходя из конкретных численных значений параметров.

Другими параметрами, характеризующими технический уровень роботов, являются надежность, число одновременно работающих степеней подвижности, время программирования, а также основанные на перечисленных выше параметрах различные относительные и комбинированные показатели. К ним относятся, в частности, удельная грузоподъемность, отнесенная к массе робота, выходная мощность манипулятора (произведение грузоподъемности на скорость перемещения), отнесенная к мощности его приводов, относительные оценки габаритных параметров, манипуляционных кинематических и динамических характеристик, возможностей программирования, экономической эффективности и т.п. Однако эти относительные показатели технического уровня уже не являются паспортными параметрами, используемыми для характеристики конкретных роботов, а служат критериями качества, предназначенными для их оптимизации при проектировании и сравнительной оценке.

3.2. Манипуляционные системы.

Сегодня основным типом манипуляционных систем роботов являются механические манипуляторы. Они представляют собой пространственные механизмы в виде разомкнутых, реже замкнутых кинематических цепей из звеньев, образующих кинематические пары с одной, реже двумя степенями подвижности с угловым или поступательным относительным движением и системой приводов обычно отдельных для каждой степени подвижности. На конце манипулятора находится рабочий орган.

Степени подвижности манипулятора делятся на переносные и ориентирующие. Переносные степени подвижности служат для перемещения рабочего органа в пределах рабочей зоны манипулятора, а ориентирующие — для его ориентации. Минимально необходимое число переносных степеней подвижности для перемещения рабочего органа в любую точку свободной рабочей зоны равно трем. Однако для расширения манипуляционных возможностей и реализации более сложных траекторий движения, например, с обходом препятствий, а также для повышения быстродействия манипуляторы обычно снабжают несколькими избыточными переносными степенями подвижности, хотя это, разумеется, существенно усложняет и повышает стоимость робота. В среднем современные манипуляторы имеют 4-6 степеней подвижности, но существуют и манипуляторы и с 8-9 такими степенями.

Максимально необходимое число ориентирующих степеней подвижности равно трем. Обычно они реализуются кинематическими парами с угловым перемещением, обеспечивающими поворот рабочего органа манипулятора относительно его продольной и двух других взаимно перпендикулярных осей.

На рис. 3.1—3.4 показаны конструкции манипуляторов с тремя переносными степенями подвижности в различных системах координат и их рабочие зоны. Манипуляторы, работающие в прямоугольной системе координат (рис. 3.1), имеют рабочую зону в виде параллелепипеда. Здесь осуществляются только поступательные перемещения, и поэтому такая система координат наиболее удобна для выполнения прямолинейных движений. Кроме того, она максимально упрощает программирование робота, так как оно обычно выполняется именно в прямоугольной системе координат, и, следовательно, в этом случае не требуется пересчета программ из одной системы координат в другую.

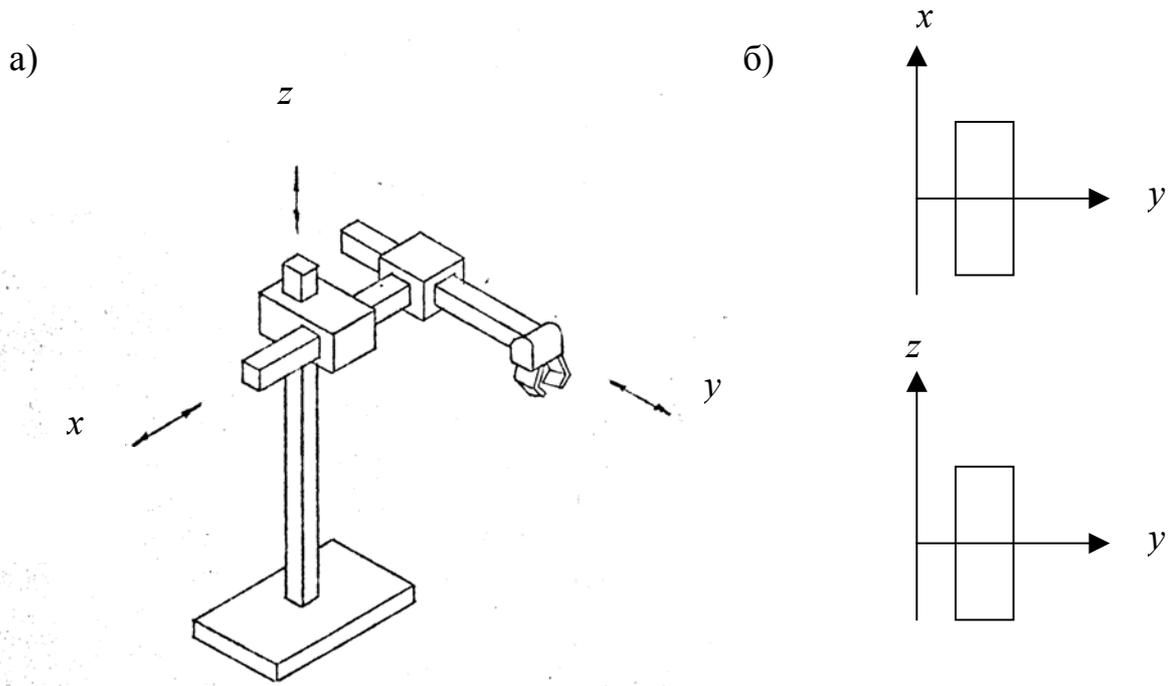


Рис.3.1. Манипулятор с прямоугольной системой координат (а) и его рабочая зона (б).

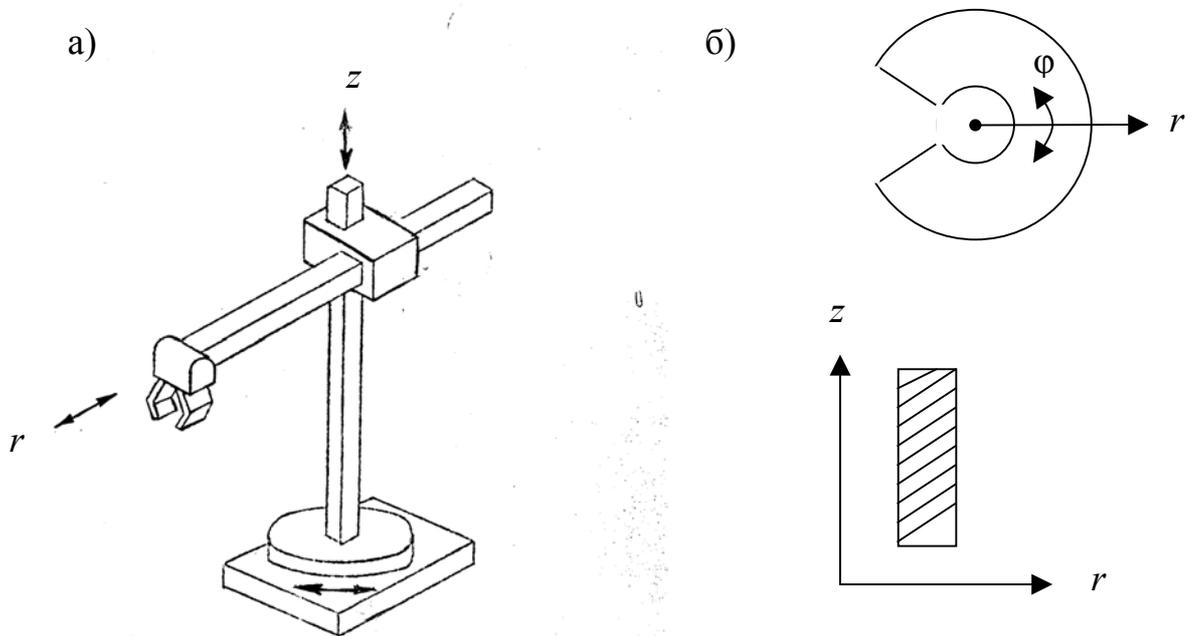


Рис.3.2. Манипулятор с цилиндрической системой координат (а) и его рабочая зона (б).

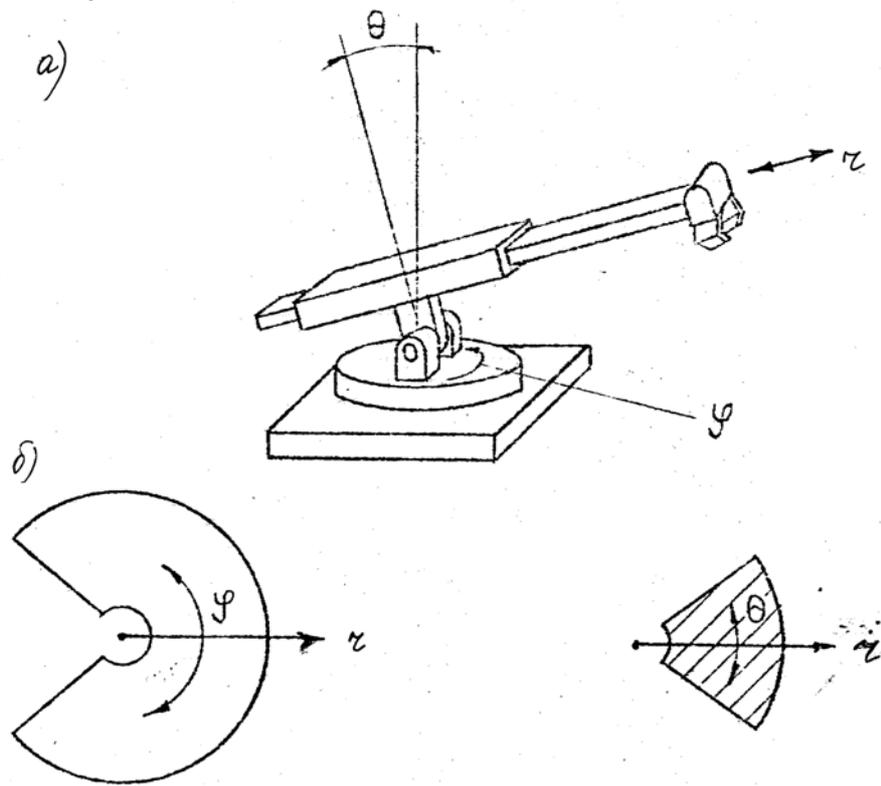


Рис.3.3. Манипулятор со сферической системой координат (а) и его рабочая зона (б).

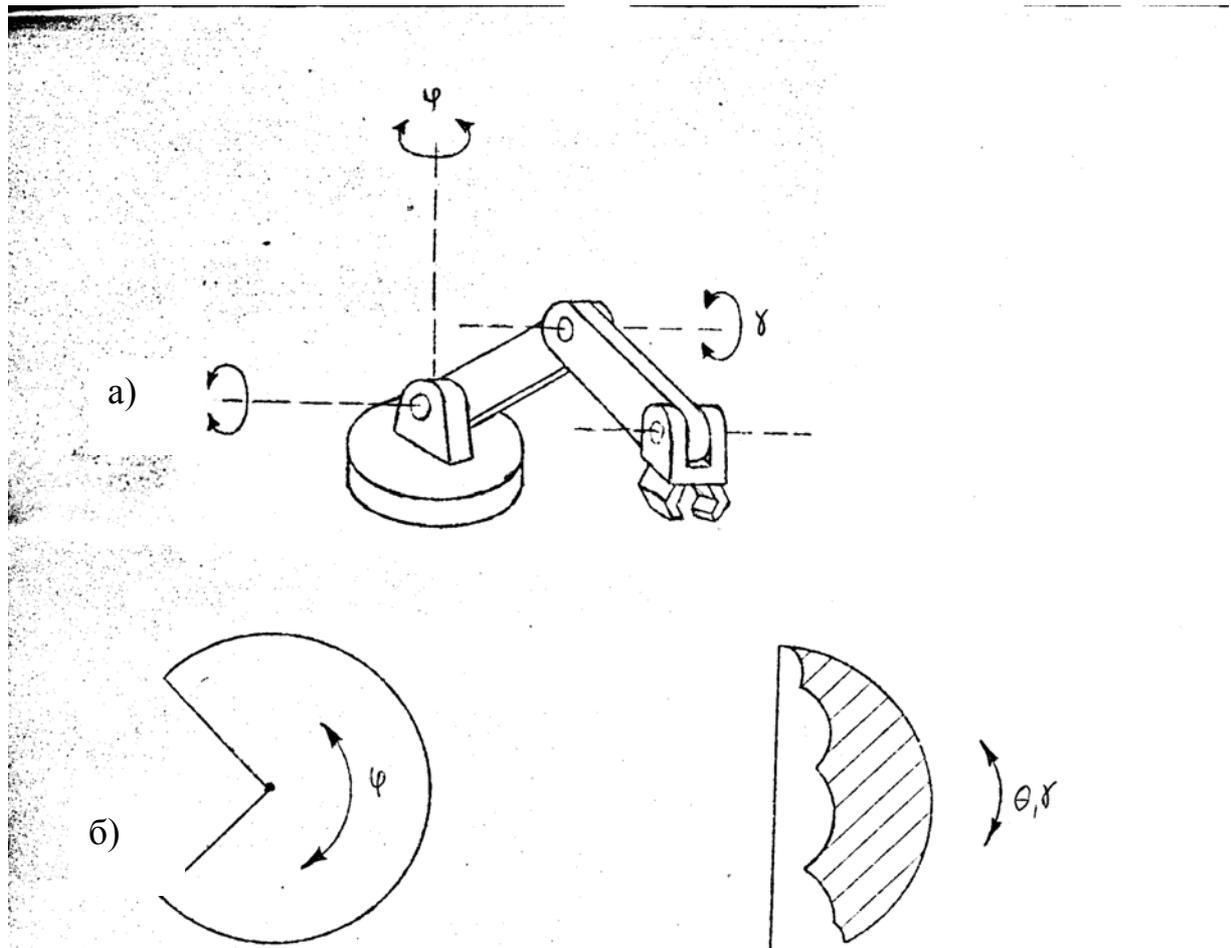


Рис.3.4. Манипулятор с угловой системой координат (а) и его рабочая зона (б).

На рис.3.5 показан пример промышленного робота, манипуляторы которого работают в прямоугольной системе координат.

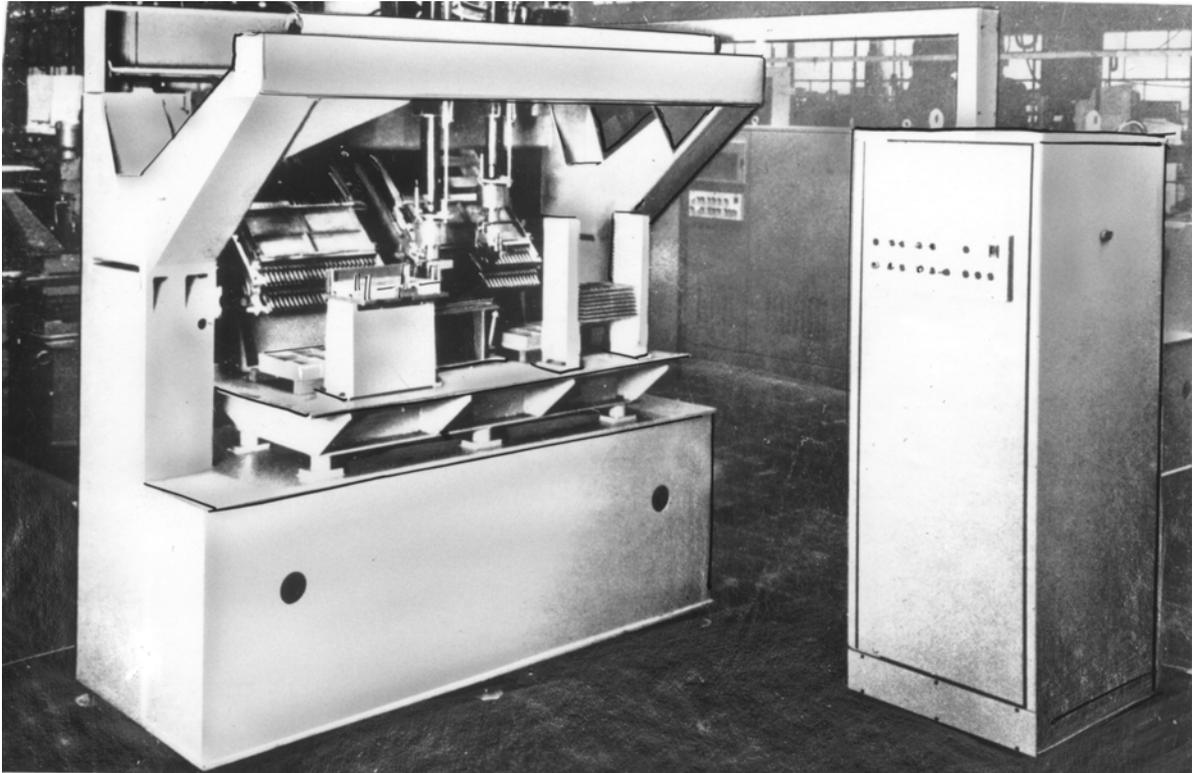


Рис.3.5. Промышленный робот «Сигма» (Италия), два манипулятора которого работают в прямоугольной системе координат.

В манипуляторах, работающих в цилиндрической системе координат (рис.3.2), наряду с поступательными перемещениями производится одно угловое перемещение (по окружности). Соответственно, рабочая зона ограничена цилиндрическими поверхностями. Показанный ранее на рис.1.5 робот работает в цилиндрической системе координат.

В сферической системе координат (рис. 3.3) осуществляются уже два угловых перемещения и рабочая зона ограничена сферическими поверхностями. Такую систему координат имеет, например, манипулятор промышленного робота, показанного на рис.1.6. Манипуляторы с такой системой координат, как правило, сложнее, чем с цилиндрической системой, однако компактнее.

Показанный на рис.3.4 манипулятор с угловой системой координат производит только угловые перемещения, т.е. все его звенья представляют собой шарниры. (В связи с этим часто такие манипуляторы называют еще шарнирными и антропоморфными.) Роботы с такого типа манипуляторами благодаря возможности последних складываться, практически не выступая за габарит основания робота, обладают наибольшей компактностью, хотя и наиболее сложны в управлении. Такую кинематику имеют, например, манипуляторы, показанные ниже на рис.3.6 и 3.8.

Представленные на рис. 3.1—3.4 манипуляторы имеют всего по три переносных степени подвижности. Однако поскольку манипуляторы реальных роботов содержат большее число степеней подвижности, в них часто используются различные комбинации рассмотренных выше основных типов систем координат.

Как показано выше, механические системы современных манипуляторов представляют собой, как правило, разомкнутые кинематические цепи, состоящие из подвижно соединенных звеньев. Соседние звенья образуют вращательные и поступательные кинематические пары, обычно пятого класса, т.е. с одной степенью подвижности. Вместе с тем применяются и более сложные кинематические схемы манипуляторов, содержащие параллельно соединенные звенья. Пример такой схемы изображен на рис.3.6. Здесь параллельно основному звену введена тяга, образующая с ним параллелограммный механизм. Он обеспечивает поступательное вертикальное движение рабочего органа при повороте шарнира 3. (При его повороте по часовой стрелке левая тяга поворачивается в том же направлении шарнир 2, выдвигая рабочий орган вправо с окружности относительно точки 3.) Это упрощает управление движением рабочего органа.

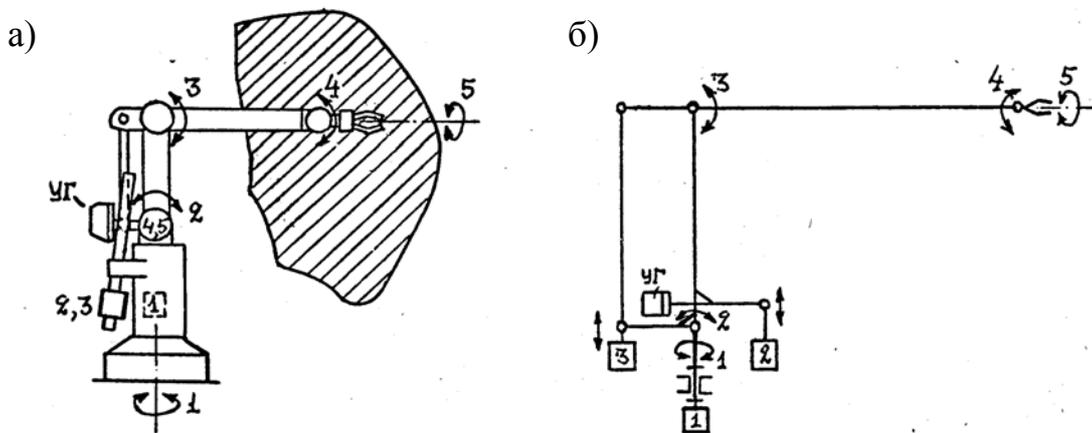


Рис.3.6. Общий вид манипулятора робота ИРб-6 фирмы АСЕА (а) и его кинематическая схема (б).

На рис.3.7. показано несколько вариантов кинематических схем с параллельным соединением звеньев, нашедших применение в манипуляторах для повышения жесткости и маневренности. Схема на рис.3.7.б., называемая платформой Стюарта, состоит из двух пластин, шарнирно соединенных несколькими (минимально тремя) поступательными парами. При изменении длины этих пар происходит пространственное перемещение верхней пластины относительно нижней. Последовательное соединение нескольких таких конструкций позволяет создавать многостепенные манипуляционные системы, способные принимать весьма сложные

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

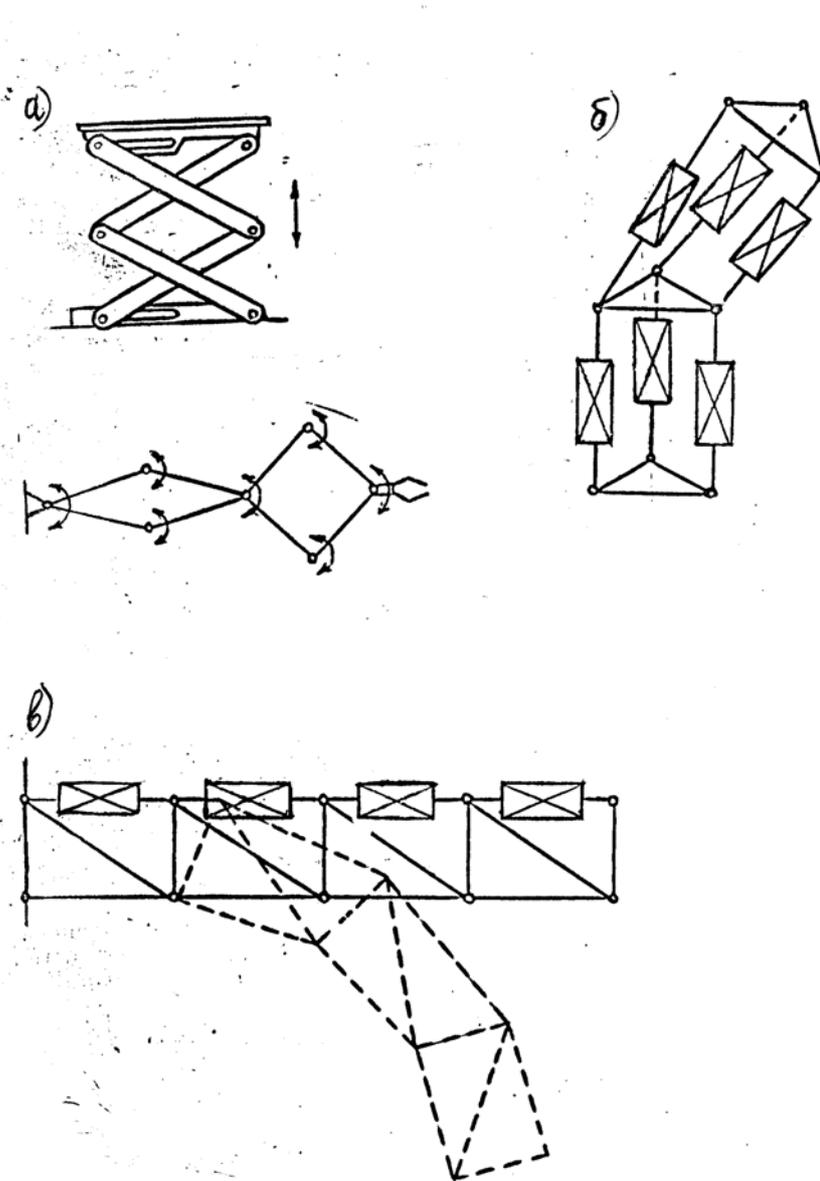


Рис.3.7. Варианты параллельных кинематических схем.

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

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

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

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

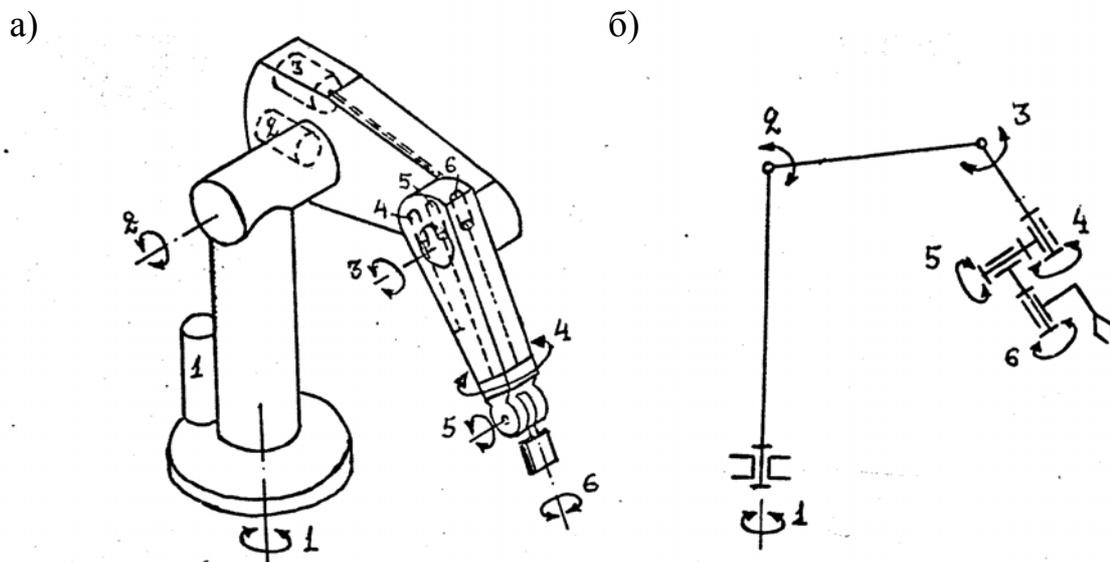


Рис.3.8. Общий вид манипулятора робота Пума фирмы Юнимейшен (а) и его кинематическая схема (б).

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

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

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

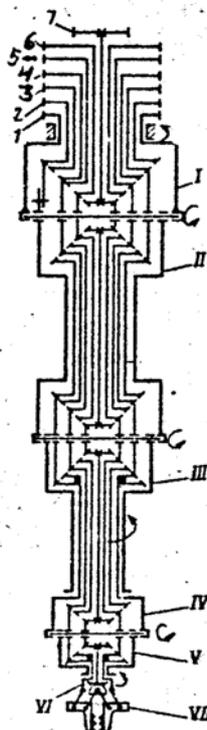


Рис. 3.9. Кинематическая схема манипулятора МЭМ-10 СД:
I-VII – звенья манипулятора; 1-7 – зубчатые колеса, соединенные с двигателями этих звеньев.

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

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

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

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

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

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

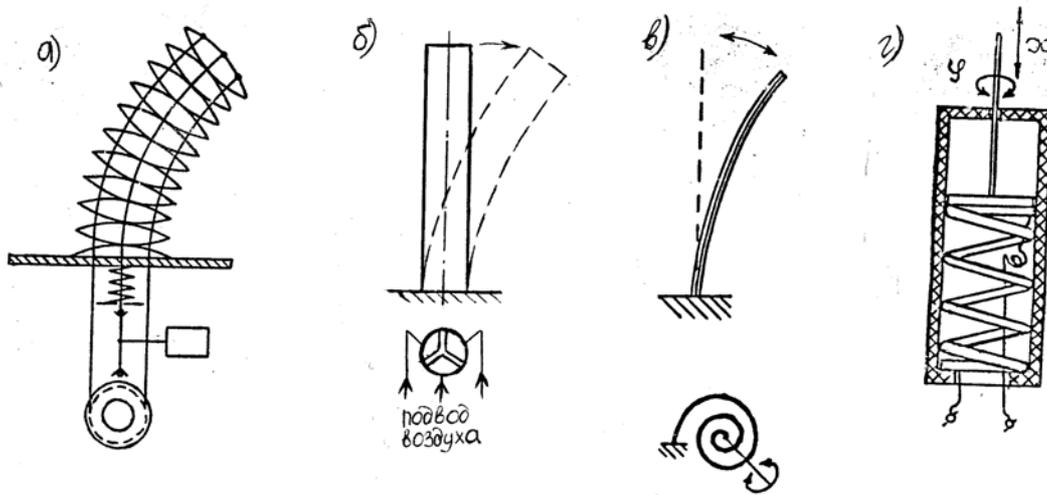


Рис.3.10. Кинематическая схема с управляемой деформацией.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

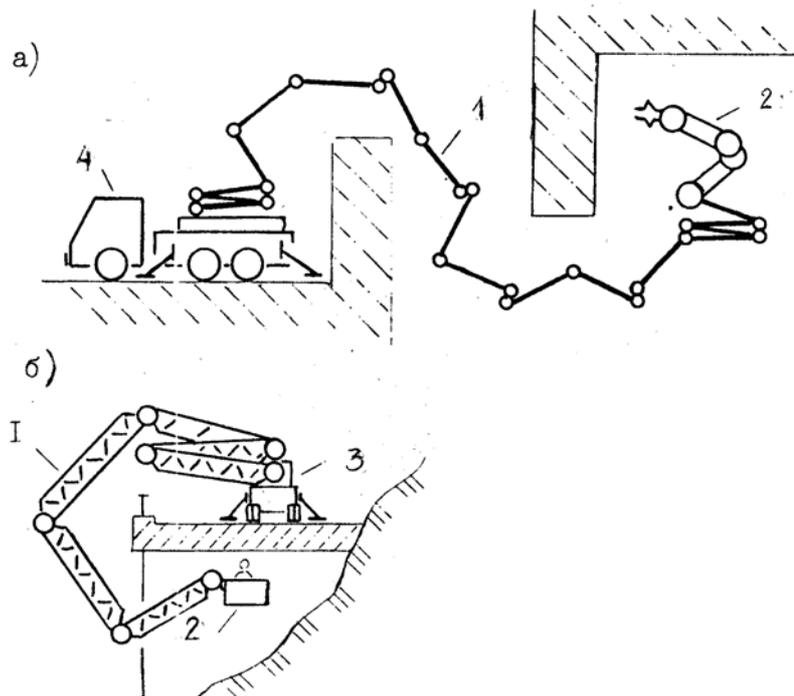


Рис.3.11. Складной манипулятор:

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

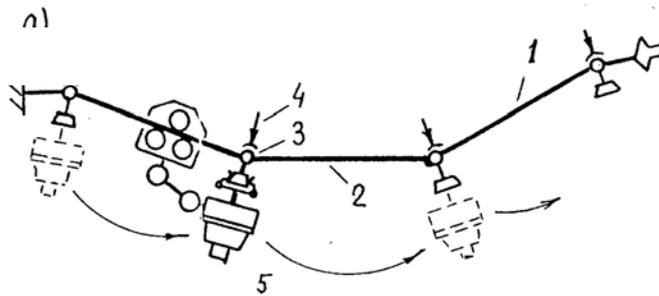


Рис.3.12. Манипулятор с перемещаемыми приводами:

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

3.3. Рабочие органы манипуляторов.

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

операции.

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

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

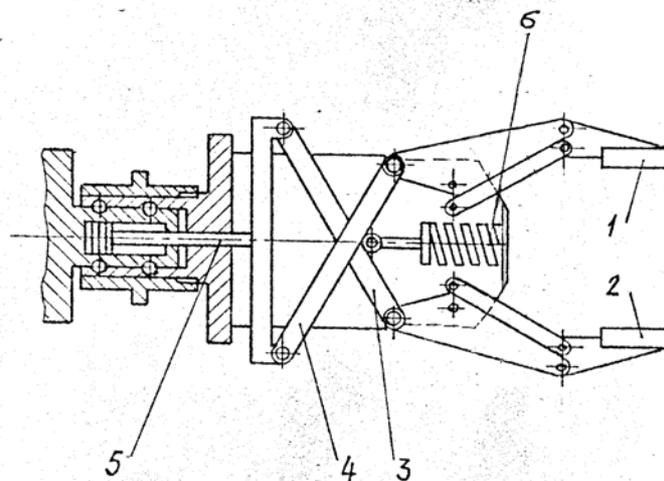


Рис.3.13. Двухпальцевый схват:

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

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

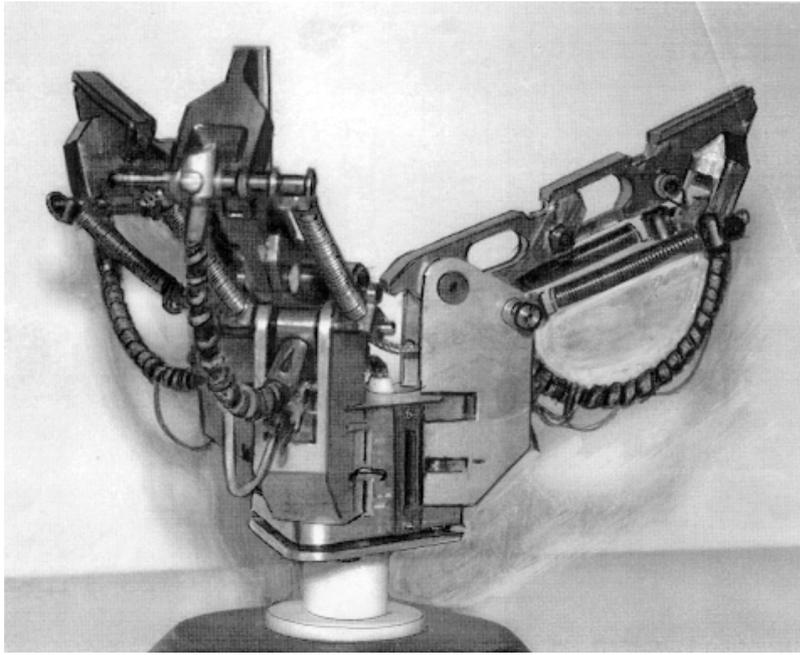


Рис.3.14. Схват с тремя пальцами.

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

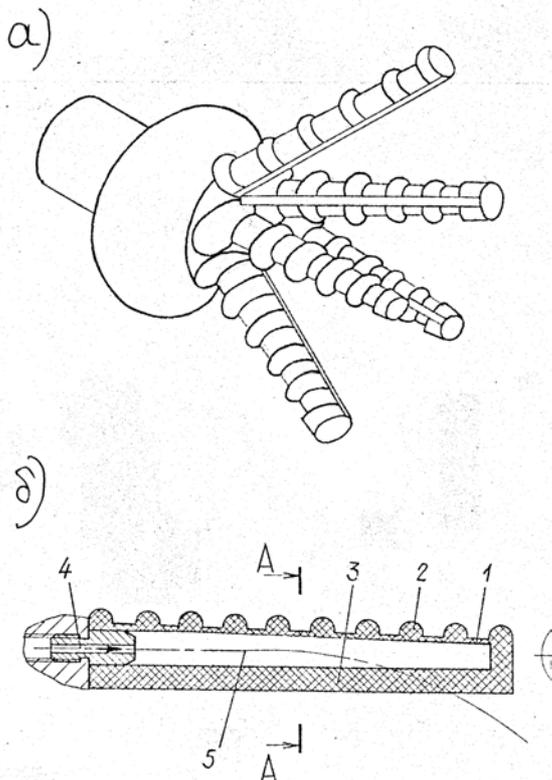


Рис.3.15. Пневматический схват с пятью гибкими надувными пальцами: а – внешний вид; б – разрез пальца:

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

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

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

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

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

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

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

3.4. Системы передвижения мобильных роботов

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

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

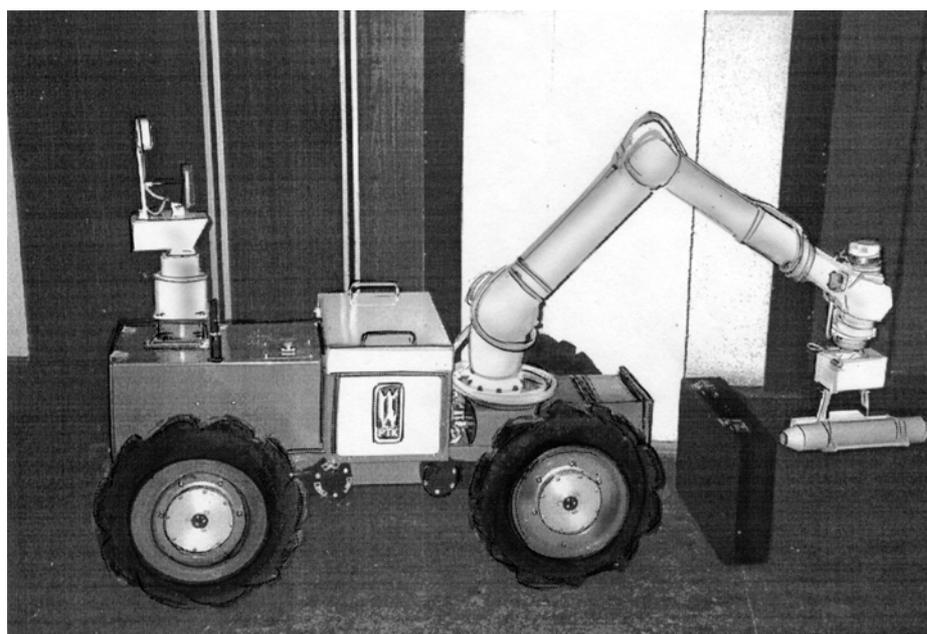


Рис.3.16. Мобильный робот на колесном ходу (ЦНИИ РТК).

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

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

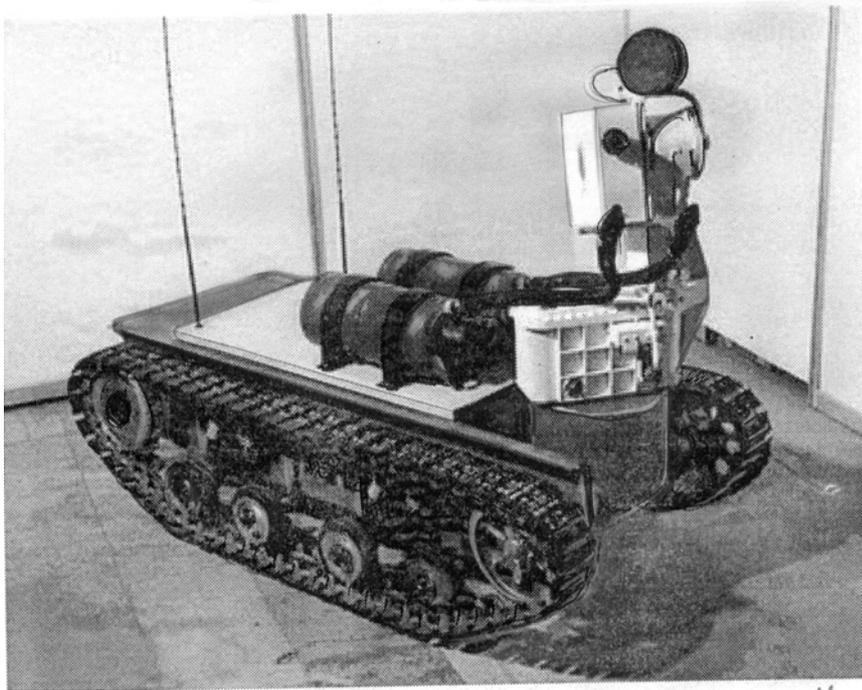


Рис.3.17. Мобильный робот на гусеничном ходу (ЦНИИ РТК).

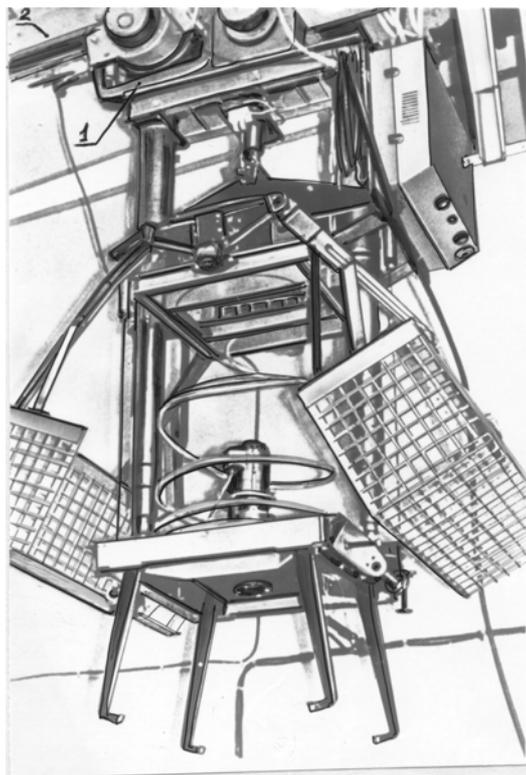


Рис.3.18. Подвесной транспортный промышленный робот ТРТ –1-2500:
1 – тележка; 2 – монорельс.

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

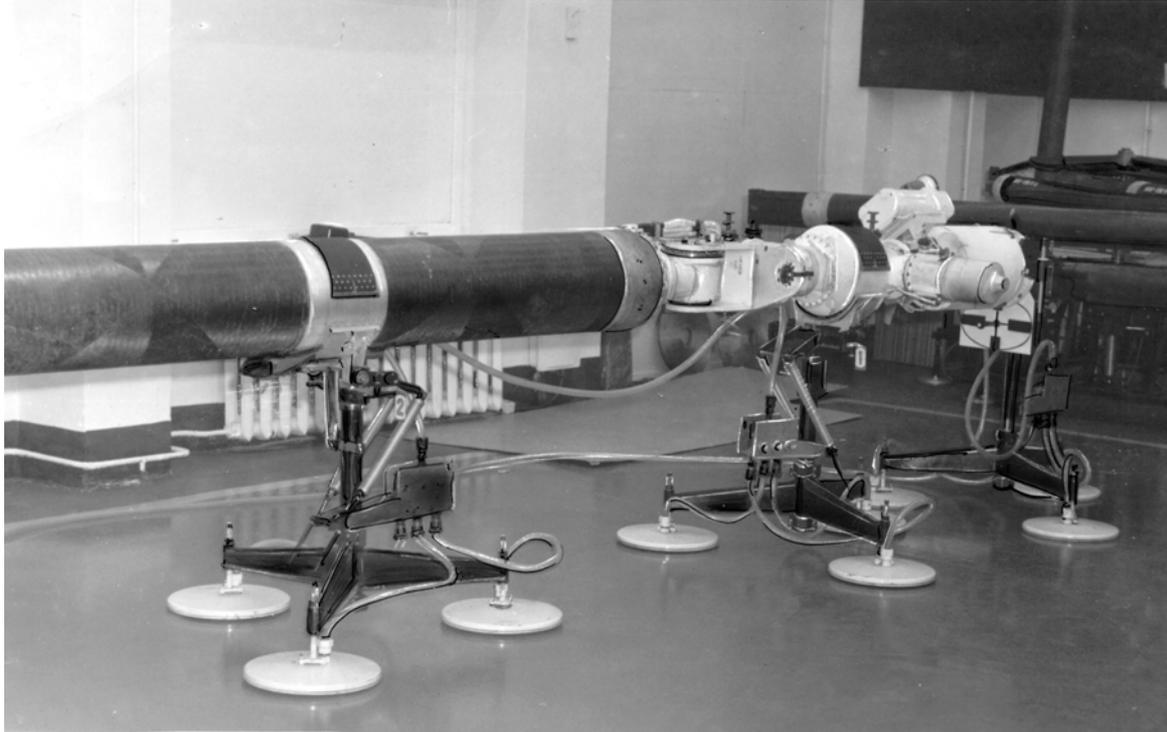


Рис.3.19. Звено манипулятора, перемещающегося на воздушных подушках.

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

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