

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

**Витебск
2010**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования

«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Амирханов Д.Р., Бувевич А.Э.

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

для студентов специальности 1-36 08 01

«Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания»

**Витебск
2010**

УДК 621.865.8(075.8)

ББК 32.816

Р 58

Рецензент: кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
«Автоматизация технологических процессов и производств»
Д.В.Смелков

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО
«ВГТУ» 10 декабря 2009 года, протокол № 7.

Р 58 Амирханов, Д. Р.

Робототехнические системы : конспект лекций / Д. Р. Амирханов, А. Э.
Буевич. – Витебск : УО «ВГТУ», 2010. – 100 с.

ISBN 978-985-481-216-8

Конспект лекций предназначен для студентов специальности 1-36 08 01 «Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания», изучающих курс «Робототехнические системы». Конспект лекций дает полное представление о предпосылках развития робототехники и использования на предприятиях легкой промышленности. В конспекте лекций представлены подробные схемы и описания захватных устройств, классификации манипуляторов и систем управления роботами, приводов, исполнительных устройств, даны описания основных конструктивных особенностей промышленных роботов.

УДК 621.865.8(075.8)

ББК 32.816

ISBN 978-985-481-216-8

© Амирханов Д.Р., Буевич А.Э., 2010

© УО «ВГТУ», 2010

Содержание

Лекция 1 Назначение и область применения роботов в легкой и текстильной промышленности.....	5
1.1 Промышленные роботы в системе комплексной автоматизации производственных процессов	5
1.2 История развития робототехники.....	7
Лекция 2 Терминология, классификация промышленных роботов.....	12
2.1 Классификация роботов и манипуляторов по назначению	12
2.2 Автооператор, манипулятор с программным управлением, сбалансированный манипулятор, робот с управлением от ЭВМ.....	16
2.3 Структура роботизированного комплекса.....	20
Лекция 3 Захватные устройства.....	23
3.1 Кинематические и конструктивные схемы манипуляционных устройств.....	23
3.2 Особенности исполнения манипуляторов и общие характеристики роботов	27
Лекция 4 Приводы и элементы автоматики	33
4.1 Классификация приводов роботов	33
4.2 Электропривод.....	35
4.3 Гидравлические и пневматические приводы	43
4.4 Выбор и определение типа привода.....	44
4.5 Гидропривод и аппаратура.....	46
4.6 Пневматический привод	47
Лекция 5 Системы управления промышленными роботами	48
5.1 Классификация систем управления.....	48
5.2 Виды систем управления	50
5.3 Система обеспечения техники безопасности	51
Лекция 6 Манипуляторы роботов.....	52
6.1 Кинематика манипуляторов	52
6.2 Распределение степеней подвижности по кинематической цепи	58
6.3 Уравновешивание подвижных масс манипулятора.....	63

Лекция 7 Информационные системы роботов	65
7.1 Классификация информационных систем.....	65
7.2 Дистанционные информационные системы.....	66
7.3 Контактные информационные системы	68
7.4 Телевизионные системы информации	72
Лекция 8 Средства передвижения роботов.....	84
8.1 Классификация средств передвижения.....	84
8.2 Автономные подвижные роботы с дистанционным управлением ..	86
8.3 Шагающие роботы	88
Лекция 9 Система управления роботов.....	91
9.1 Классификация уровней управления ПР	91
9.2 Классификация управляемых систем.....	93
Литература	99

Лекция 1 Назначение и область применения роботов в легкой и текстильной промышленности

План:

1. Промышленные роботы в системе комплексной автоматизации производственных процессов.
2. История развития робототехники.

1.1 Промышленные роботы в системе комплексной автоматизации производственных процессов

Значительные изменения в технике и технологии окажут большое влияние на характер труда человека в условиях гибкого производства, повышение требований социального и психологического значения. Рассмотрим подробно особенности заводов будущего по социальным характеристикам.

Эргономика и комфортность рабочих мест. В последние годы стало уделяться особое внимание вопросам эргономики рабочего места с учетом анатомических, физиологических и психологических характеристик человека. Эти вопросы начинают выделяться в самостоятельный раздел организации и экономики производства, который стал называться гуманизацией труда. При этом под гуманизацией труда понимается не только широкий круг мероприятий, направленных на улучшение условий труда, исключение тяжелых, монотонных и вредных для здоровья операций, но и меры, способствующие привлекательности труда и его творческих составляющих. К таким мерам, например, относятся организационные, позволяющие рабочим углублять обмен информацией на своих рабочих местах, участвовать в управлении технологическими процессами и др. Опыт показывает, что успех внедрения новой техники и технологий достигается только при надлежащем учете взаимодействия технологических, экономических, организационных и человеческих факторов в комплексе. Многие западные специалисты обнаружили, что «тейлоризм» (разделение процесса производства на простые элементы ради организации многооперационного, поточного производства) не совместим с современным гибким производством и требованиями повышения содержательности труда.

Гуманизация труда, таким образом, направлена не только на снижение стрессов, устранение источников несчастных случаев, исключение монотонных операций, повышение требований к удобству рабочего места, но и на использование знаний и опыта работающих, их постоянное совершенствование, обогащение содержания работы путем включения более сложных заданий, индивидуальной организации труда каждого, возможности проявлять собственную инициативу, т. е. создание условий, при которых труд приносит радость.

Совмещение профессий, повышение квалификации рабочих при общем сокращении высококвалифицированного и другого труда. Три фактора рационализации труда требуют совмещения профессий и повышения квалификации труда на заводе будущего:

- 1) значительное сокращение потребности в живом труде благодаря все-

сторонней автоматизации основных, вспомогательных и обслуживающих работ. Для обслуживания одной или нескольких ГПС требуется всего 5—6 человек вместо нескольких десятков занятых непосредственно на производстве. Объема остающегося неавтоматизированного труда не хватает, чтобы загрузить полностью оператора какой-то одной профессии. Для обслуживания одной ГПС число профессий превышает число имеющихся операторов, поэтому один и тот же рабочий становится и наладчиком станков, и инструментальщиком, и крановщиком, и водителем автопогрузчика, и ремонтником по устранению сложных отказов и др;

2) интеграция производства и централизация обработки деталей с сокращением числа операций приведет к тому, что конструктор должен быть еще и технологом, токарь — фрезеровщиком, а ремонтник — механиком и специалистом по электронной технике и т. д.;

3) интенсификация труда с обогащением его содержательности расширяет круг обязанностей рабочего, обеспечивает его большую самостоятельность, участие в принятии решений и управлении производством. Это повышает интерес к труду, так как ответственность каждого растет, растет и его понимание значения своего труда в общем деле, в изменении показателей производства. Это относится и к труду служащих и ИТР.

Создание машиностроительного предприятия с вышеперечисленными характеристиками невозможно путем дальнейшего развития традиционных подходов, необходимы революционные сдвиги в технологии машиностроения и организации производства. Такие сдвиги начинают проявляться как основные тенденции развития современного машиностроения по следующим направлениям:

а) Отказ от дифференциации обработки деталей и сборки изделий в несколько операций. Рост сложности машиностроительной продукции, многочисленность операций при дифференциации обработки привели к непропорциональному росту вспомогательных операций, объемов незавершенной продукции и заделов, что значительно увеличило оборотные средства и время производственного цикла. Ранее эффективная технология с дифференциацией операций при гибкой автоматизации процессов оказалась менее эффективной, наметился переход к централизованной обработке деталей в одну операцию. Эта тенденция подтверждается все более широким применением многооперационных станков с ЧПУ типа ОЦ.

б) Постоянная модернизация производства в ходе научно-технического прогресса. Завод будущего должен постоянно внедрять новые достижения науки и техники по мере их появления, а не только во время очередной (каждые 15—20 лет) его периодической модернизации, как это имеет место в настоящее время. Имеются две стороны этой проблемы, определяющие необходимость постоянной модернизации. С одной стороны, завод будущего — это капиталоемкое и наукоемкое предприятие, которое нельзя просто «списать» через 15—20 лет. С другой стороны, завод будущего не должен, ожидая очередную модернизацию, сдерживать прогресс.

1.2 История развития робототехники

В конце 60-х годов XX столетия прогресс в области создания вычислительной техники и средств автоматизации технологических процессов достиг такого уровня, что в ведущих промышленно развитых странах остро встал вопрос о коренной перестройке управления производственной технологией на основе широкого применения компьютеризированных средств автоматизации. Однако в то время еще нельзя было точно ответить, где именно проявится наибольший эффект от внедрения новых технических средств – в самой технологии или в областях, связанных с организацией технологии (исследования, проектирование, конструирование, организационное управление).

Поэтому в 70-х годах передовые в технологическом отношении страны подвергли проверке **две альтернативные гипотезы** развития компьютеризированной автоматизации, суть которых сводилась к следующему вопросу: что быстрее ведет к успеху – автоматизация получения знаний о технологии или **автоматизация самой технологии**.

На основе указанных гипотез сформировались два глобальных направления в автоматизации производства.

Первое направление условно объединилось под названием АСУ/САПР, т.е. автоматизированные системы управления / системы автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства. Аналогом таких терминов в англоязычной литературе является MIS / CAD (Management Information System / Computer Aided Design).

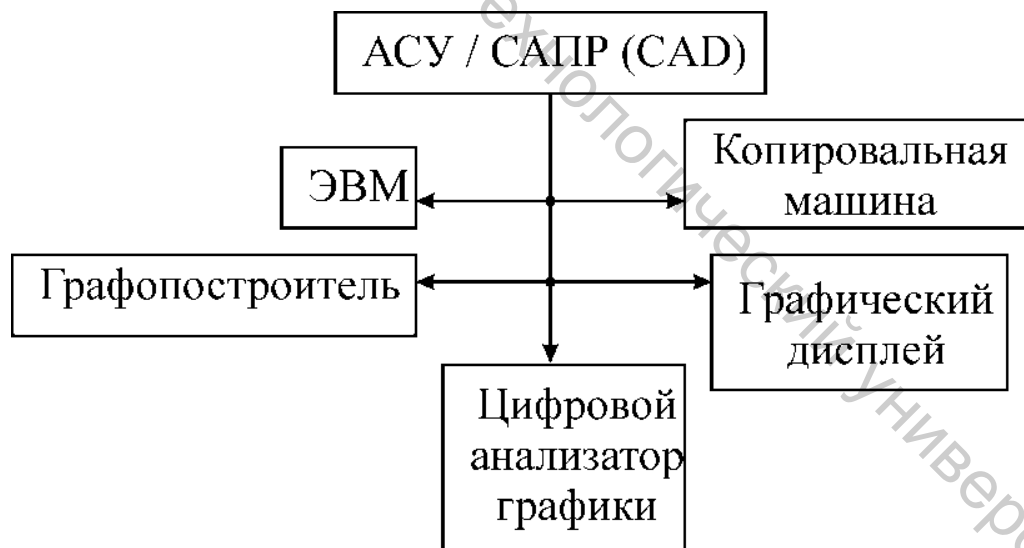


Рис. 1.1 – Автоматизация обработки информации

Второе направление в отечественной литературе обозначено было термином АСУ ТП (автоматизированные системы управления технологическими процессами; соответствующий аналог – САМ (Computer Aided Manufacture)).

В дальнейшем для краткости первую гипотезу и соответственно первое направление обозначим термином “концепция САД”, а вторую гипотезу и на-

правление – “концепция САМ”.

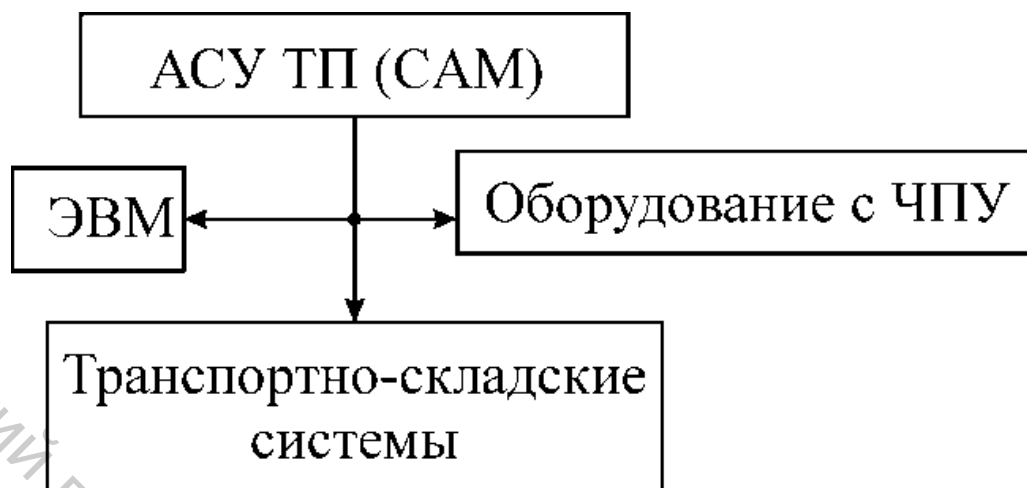


Рис. 1.2 – Автоматизация технологии

Нетрудно заметить, что первое направление охватывает сферы организации и управления производственной оргструктурой, а также сферы проектирования и технологической подготовки производства, т.е. оно преимущественно направлено на автоматизацию получения и обработки информации, знаний о технологии и связанных с ней производственных функциях. Второе направление нацелено непосредственно на автоматизацию технологий.

Наиболее яркими представителями концепции САД оказались США, а концепции САМ – Япония.

В нашей стране также получили развитие направления АСУ/САПР.

Вместе с тем следует отметить условность и упрощенность строгого разделения этих двух концепций – САД и САМ. Дело в том, что и в США и в Японии, а также и в других странах развивались одновременно оба направления, т.е. использовалась смешанная стратегия автоматизации. Поэтому, рассматривая смешанные стратегии в терминах чистых стратегий САД и САМ, мы указываем на смещение центра тяжести капиталовложений в области автоматизации производства в той или иной стране. Так, в США центр тяжести капиталовложений был смещен в пользу концепции САД и к концу 70-х годов США значительно опережали другие страны в области создания САПР. В противоположность США, Япония сосредоточила капиталовложения на концепции САМ и в результате буквально нанесла поражение США на международном рынке по целому ряду промышленных видов продукции. С 1970 г. в научной и широкой печати за рубежом появились аналитические статьи с открытым признаком поражения США в самой престижной для этой страны области – технологии производства, в результате чего выявилась необходимость создания объединенной концепции САПР/АСУТП или (САД/САМ). Причем Япония даже раньше США воспользовалась преимуществами САД/САМ, так как 90% оборудования типа САПР было импортировано в Японию в эти годы из США.

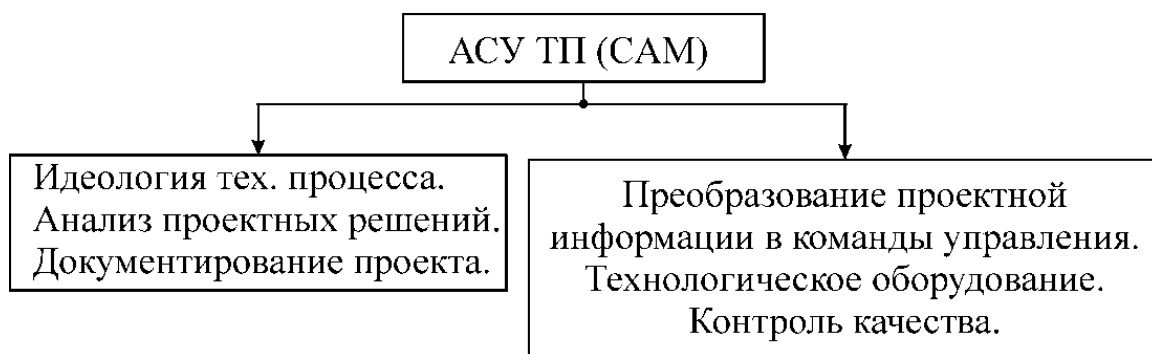


Рис. 1.3 – Объединенная концепция САПР/АСУ ТП

Системы САД/САМ обладают следующими особенностями:

- 1) строятся на базе ЭВМ в виде аппаратных и программных средств для целей технического проектирования, графического представления информации, машинного анализа, управления производством;
- 2) позволяют создавать, отображать, анализировать, запоминать, манипулировать всевозможной графической информацией без пользования ручного черчения;
- 3) легко перестраиваются по требованиям конкретного пользователя благодаря модульному принципу построения;
- 4) имеют многотерминальный доступ со стороны пользователей;
- 5) позволяют автоматически преобразовывать графическую информацию в команды управления средствами производства с числовым программным управлением (ЧПУ);
- 6) осваиваются с минимумом усилий;
- 7) имеют одновременный контроль точности, качества и надежности как технологического оборудования, так и продукции.

Основным недостатком систем САД/САМ является то, что они сохраняют большую долю ручного труда при управлении технологическими процессами, а следовательно, остаются достаточно жесткими системами, ориентированными на специфику того или иного проекта.

В связи с этим в 80-90 годы возникла новая концепция, объединившая САД, САМ и робототехнику, которая получила название – гибкая производственная система (ГПС).

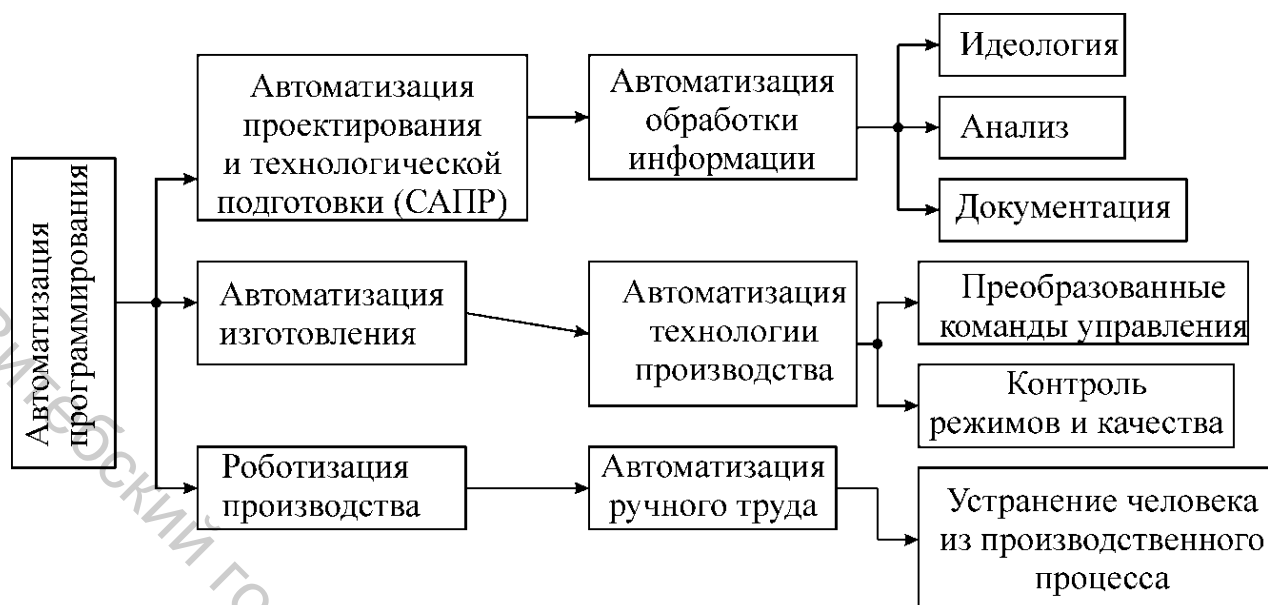


Рис. 1.4 – Гибкая производственная система

С включением робототехники значительно повысилась гибкость управления производством и был сделан практический шаг в области разработки и создания трудосберегающей технологии.

Несмотря на высокую стоимость ГПС крупные фирмы типа “Крайслер” (США), “Локхид” (США), “Хитачи” (Япония) создавали или приобретали по несколько таких систем в год. Характерно, что к традиционным производителям систем автоматизированного проектирования и технологической подготовки “Компьютер вижи”(США), “Апликон” (США), “Хитачи” (Япония) в настоящее время подключаются для создания ГПС крупнейшие производители ЭВМ – “ИБМ”(США), “ДЕЛЛ” (США), концерн “Мицубиси” (Япония), и др.

К 2000 г. капиталовложения США на гибкие производственные системы возросли в 3 раза. К тому же году в Японии планировалось производить при помощи гибких производственных систем до 40% всей промышленной продукции. По мнению некоторых американских специалистов, благодаря внедрению гибких технологий в США в ближайшие 10-15 лет количество рабочих, участвующих непосредственно в технологических процессах, составит всего 2% от работающего населения страны.

Реконструкция белорусского машиностроения, его перевооружение и перевод на интенсивный путь развития невозможны без значительных перемен в организации производства, без применения новейших технологий и современного оборудования.

Переход к гибкому производству и электронизации всех производственных процессов ведут к созданию завода будущего как высокоавтоматизированного производства с минимальным участием людей, постоянным совершенствованием его по мере развития научно-технического прогресса.

Рассмотрим подробно особенности заводов будущего по техническим, экономическим и социальным характеристикам.

Технический и экономический уровни будущего производства во многом будут определяться следующими технико-экономическими характеристиками.

1) Высокая производительность живого и фондоотдача овеществленного труда. Экономия живого труда достигнет значительных размеров. Уже созданы заводы со значительным сокращением численности занятых, приходящихся на единицу выпускаемой продукции. (Например, на заводе японской фирмы «Ямассаки сейко» с общим штатом в 180 человек выпускается 150 металлообрабатывающих станков в месяц.) Фирма «Вольво» (Швеция) в 1983 г. выпустила 105 тыс. автомобилей при общем числе занятых 5800 человек, т. е. в среднем на одного занятого приходится 18 автомобилей в год. Та же фирма на новом заводе в г. Калмаре, первом в мире высокоавтоматизированном автомобильном заводе, работающем по новой технологии без традиционного сборочного конвейера, выпускает 30 тыс. автомобилей в год при общем числе занятых 600 человек (50 автомобилей на одного занятого в год).

Преимущества гибких автоматизированных производств (ГАП):

1) Высокая степень гибкости (мобильности) производства. Для завода будущего характерна высокая гибкость (мобильность) производства при высокой производительности труда. В традиционном производстве высокая мобильность производства возможна практически только при использовании универсального оборудования. Однако на таком оборудовании нельзя достичь высокой производительности труда.

Для достижения высокой производительности необходимо переходить на специализированное и специальное оборудование, на базе которого создаются высокопроизводительные автоматические линии, как правило, предназначенные для производства какой-то одной детали, т. е. имеет место жесткое (в отличие от гибкого) автоматизированное производство. При прекращении выпуска данной детали такое оборудование не может быть использовано для производства другой детали, т. е. мобильность полностью отсутствует. К тому же высокопроизводительное специальное оборудование создается за 4—5 лет после того, как изделие спроектировано. Если к этому сроку добавить 5—6 лет (необходимый срок) амортизации автоматических линий, то фактически изделие (деталь) не может изменяться в общей сложности 10 лет и более. Это сдерживает научно-технический прогресс, в этом проявляется определенный консерватизм производства на базе автоматических линий и специального оборудования.

ГПС создаются обычно с применением многооперационных станков типа «обрабатывающий центр», на которых можно обрабатывать разнообразные детали в пределах технологического назначения и технических характеристик, что при автоматической переналадке определяет быстрый переход к выпуску деталей практически произвольной номенклатуры. Таким образом, при высокой гибкости достигается и высокая производительность. На заводах будущего технологическая подготовка производства будет осуществляться одновременно с конструкторской подготовкой, а детали изготавливаться на существующем гибком оборудовании, переналадка которого, если это необходимо, будет занимать не более 5—10 мин. На этом же оборудовании будут изготавливаться как опыт-

ные образцы, так и серии изделий. Гибкость производства обеспечит переход на выпуск новых изделий на том же оборудовании без остановки производства.

2) Минимально возможный производственный цикл изготовления изделий. Этот важный показатель производства не всегда учитывается при подсчете экономической эффективности. Если взять полное время цикла создания продукции от начала разработки задания до выхода готового изделия за 100%, то, как известно, время изготовления изделия, т. е. время его нахождения в цехах завода, составит 1%. Если же за 100% взять время нахождения изделия в цехах, то получается, что детали находятся на станках или другом технологическом оборудовании 5%, а обрабатываются на них всего 25—35% времени от 5%. Таким образом, имеются значительные возможности и резервы времени (99 и 95%) для сокращения полного цикла создания и изготовления изделий.

Лекция 2 Терминология, классификация промышленных роботов

План:

1. Классификация роботов и манипуляторов по назначению.
2. Автооператор, манипулятор с программным управлением, сбалансированный манипулятор, робот с управлением от ЭВМ.
3. Структура роботизированного комплекса.

2.1 Классификация роботов и манипуляторов по назначению

Система программного управления (СПУ) предназначена для программирования, сохранения управляющей программы, ее воспроизведения и отработки. В зависимости от решаемых задач состав систем управления может варьироваться.

Управление роботом осуществляется на основании программы его работы.

Программа — полное и точное описание на некотором формальном языке процесса обработки информации, приводящего к решению поставленных задач.

Управляющая программа — последовательность простых инструкций, выполненных на некотором формальном языке, причем исполнение этих инструкций при соблюдении определенной очередности приводит к решению поставленной задачи. Структурная схема ПР представлена на рис. 2.1.

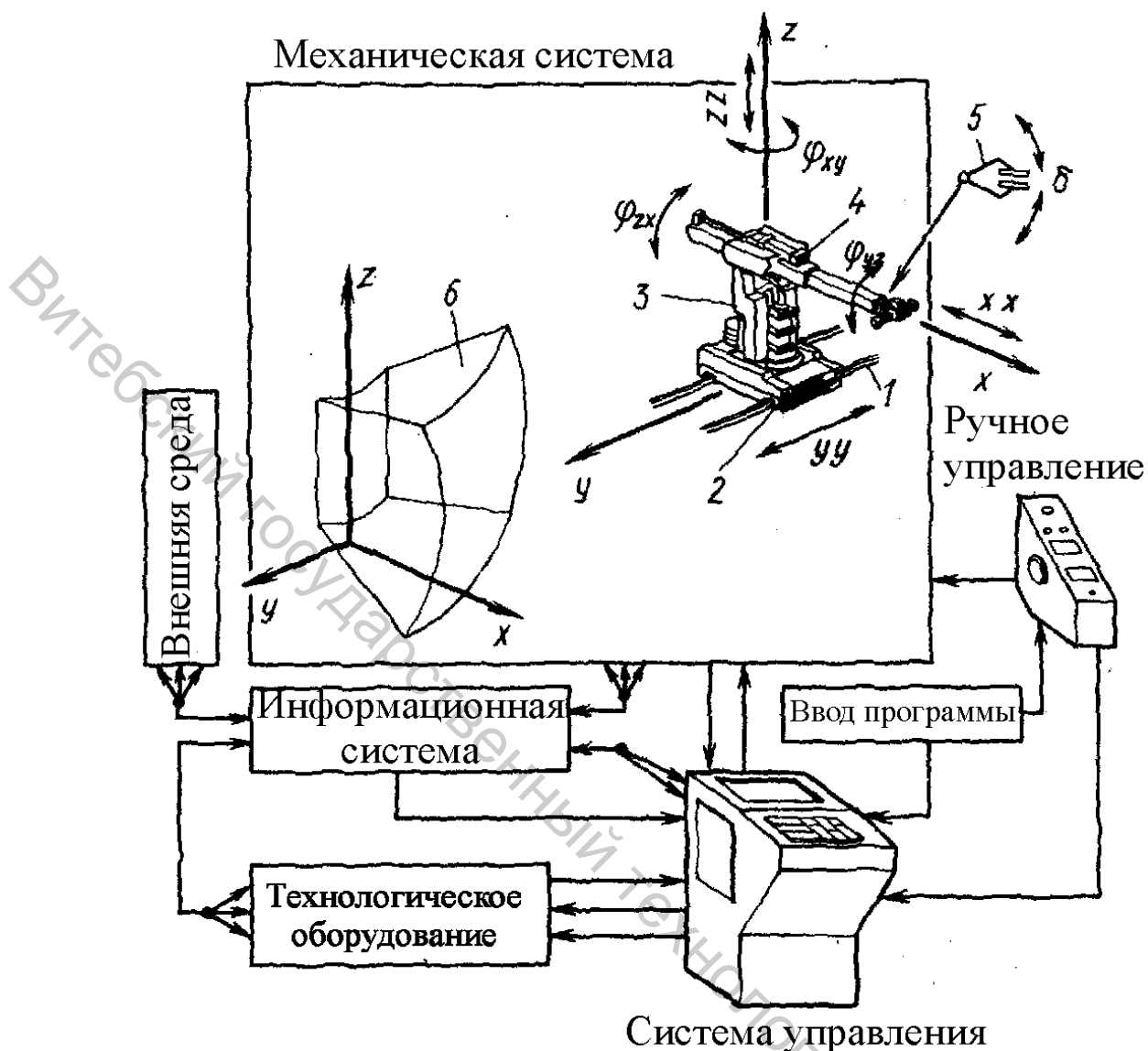


Рис. 2.1 – Структурная схема промышленного робота, основные элементы конструкции и виды движений рабочих органов:

1 – путепровод; 2 – основание; 3 – корпус; 4 – рука; 5 – захватное устройство; 6 – рабочая зона и система координат основных движений ПР: xx – направление движения руки вдоль продольной оси; yy – направление движения корпуса робота по путепроводу; zz – направление движения руки вверх-вниз; φ_{xy} – угол поворота корпуса робота вокруг вертикальной оси zz ; φ_{zx} – угол поворота руки в вертикальной плоскости; φ_{yz} – угол поворота захватного устройства относительно оси xx ; δ – направление движения захвата (зажима) детали ; δ и φ_{yz} – направления ориентирующих движений; xx , zz , φ_{xy} и φ_{zx} – направления транспортирующих движений; yy – координатное движение

В общем виде для функционирования ПР необходима информация о последовательности выполнения шагов программы, о пространственном положении отдельных степеней подвижности и о времени выполнения отдельных шагов программы и отдельных управляющих команд. Эта информация, зафиксированная тем или иным способом, является управляющей программой. Материальный носитель, в котором она зафиксирована, называют *программоносителем*.

Управляющая программа может быть зафиксирована как с помощью механических аналогов (упоров, копиров и т. п.) и различных коммутаторов (штекерных панелей, барабанов, коммутационных полей и т. п.), так и на быстросменных носителях (перфолентах, магнитных лентах, дисках и т. д.). В качестве устройств ввода управляющей программы с быстросменных носителей применяют контактные и бесконтактные считывающие устройства (для перфолент и перфокарт), а также различные магнитные накопители (для магнитных лент, барабанов и дисков). Устройствами ввода управляющей программы являются также пульты обучения и управления, позволяющие ввести управляющую программу непосредственно в запоминающее устройство СПУ.

Программирование — подготовка задачи управления для ее решения и ввод информации управляющей программы в запоминающее устройство СПУ.

Программирование ПР может осуществляться методами: 1) обучения (наиболее распространен); 2) расчета управляющей программы; 3) самообучения. При первом методе управляющая программа формируется в режиме диалога СПУ с оператором, которые с помощью ручного пульта (панели) хранятся в запоминающем устройстве. Для систем ЧПУ объем памяти определяется количеством машинных слов или двоичных знаков. Для систем ЦПУ емкость памяти — максимальное количество управляющих команд. Емкость оперативной памяти запоминающего устройства (ОЗУ) — максимальное количество информации управляющей программы, непосредственно участвующей в текущем процессе выполнения операций по управлению ПР. Емкость внешнего **запоминающего устройства (ВЗУ)** — максимальное количество информации, которое может длительно храниться на программоносителе.

Воспроизведение программы — считывание информации из запоминающего устройства и передача управляющих сигналов к исполнительным механизмам ПР.

Обработка программы — выполнение ПР операций в соответствии с сигналами, переданными на его исполнительные механизмы **при воспроизведении программы**.

В зависимости от вида информации организация памяти может быть осуществлена различными способами.

Информационная система (ИС) обеспечивает сбор, первичную обработку и передачу в систему управления данных о функционировании узлов и механизмов ПР (в том числе и блоков системы управления) и о состоянии внешней среды.

ИС входит в состав СПУ и включает в себя устройство обратной связи

(УОС), устройство сравнения сигналов (УСр) и комплекс датчиков обратной связи (ДОС) различного функционального назначения.

Информационные системы ПР по функциональному значению условно можно разделить на три подсистемы: 1) восприятия и переработки информации о внешней среде, в которой функционирует робот; 2) внутренней информации о состоянии узлов, механизмов и систем ПР; 3) обеспечения техники безопасности. Условность такого разделения определяется тем, что одни и те же датчики и блоки обработки информации могут на основе межсенсорного и сенсомоторного взаимодействий участвовать как в восприятии внешней информации, так и в контроле собственного состояния ПР, а информационная подсистема обеспечения техники безопасности функционирует в результате взаимодействия двух первых подсистем.

Подсистема внешней информации определяет функциональные возможности ПР и степень сложности решаемых им задач; она предназначена для сбора информации о внешней среде и контроля состояния объекта труда и обслуживаемого оборудования. В зависимости от способа взаимодействия с объектами внешней среды эта подсистема может быть разделена на дистантную (визуальную, локационную) и контактную (осязания).

Контактные датчики применяют для обнаружения объекта, установления момента соприкосновения с ним, определения размеров объекта, контроля давления на объект, выполнения различных производственных операций, установления подготовленности основного технологического оборудования к обслуживанию роботом, а также для обеспечения безопасной работы.

Назначение дистантных (бесконтактных) датчиков то же, что и контактных. Их преимущество – отсутствие непосредственного соприкосновения с объектом, вследствие чего они не испытывают силовых воздействий. Однако отсутствие контакта с поверхностью накладывает свои ограничения на решаемые с их помощью задачи. Так, использование дистантных датчиков затрудняет определение некоторых физических параметров объектов манипулирования – шероховатости поверхности, теплоемкости, электропроводности и т. п., а также затрудняет захват хрупких (деформируемых) объектов и контроль за надежным удержанием этих объектов в процессе манипулирования с ними.

Подсистема внутренней информации в зависимости от решаемых задач может содержать различные устройства: оценки положения и скорости движения степеней подвижности ПР, регистрирующие фактическое его состояние в каждый момент времени и сравнивающие поступающую информацию с требуемыми параметрами движения;

аварийной блокировки, предотвращающие поломки механической системы ПР и взаимодействующего с ним оборудования при появлении случайных сбоев;

диагностики и прогнозирования ресурса ПР, предназначенные для определения причин отказов, предупреждения о них и сокращения времени восстановления работоспособности ПР, а также для уменьшения числа отказов ПР путем своевременного проведения профилактических работ.

В качестве датчиков внутренней информации применяют предельные выключатели, бесконтактные переключатели, фотореле, реле давления, силовые датчики и датчики моментов. Датчиками внутренней информации могут быть и элементы системы внешней информации (оценка положения степеней подвижности ПР в пространстве путем прохода контрольных точек, оценка правильности протекания рабочего цикла по ответным командам от внешнего технологического оборудования и т. п.). Если в ПР используются гидро- или пневмомеханизмы с обратной связью, то для определения положений исполнительных органов применяют потенциометры, сельсины, резольверы, индуктивные датчики различных типов, генераторы импульсов, кодовые датчики и другие устройства. С помощью указанных датчиков в СПУ робота передается информация о положениях (линейных и угловых) исполнительных механизмов ПР, о подготовленности к работе приводов и т. п. *Информационное обеспечение работы* ПР складывается из трех последовательно реализуемых этапов (фаз): 1) захватывания объекта манипулирования; 2) его перемещения в пространстве (транспортирования) и 3) «терминала». Последняя фаза может преследовать три основные цели: достижение конечного положения и ориентацию объекта манипулирования относительно других объектов в рабочем пространстве; получение надежного контакта (взаимосвязи) объекта манипулирования либо конечного звена ПР с какими-либо объектами внешней среды; обеспечение на конечном звене ПР усилий или моментов, достаточных для выполнения производственных операций. Каждой из этих фаз требуется различное информационное обеспечение. Фазы захватывания объекта и терминала могут осуществляться под контролем подсистем внешней и внутренней информации. Фаза транспортирования требует в основном использования устройств оценки положения и скорости перемещений степеней подвижности ПР, а также устройств аварийной блокировки.

2.2 Автооператор, манипулятор с программным управлением, сбалансированный манипулятор, робот с управлением от ЭВМ

Робот (Р) – автоматическая машина, включающая перепрограммируемое устройство управления и другие технические средства, обеспечивающие выполнение тех или иных действий (в зависимости от назначения Р), свойственных человеку в процессе его трудовой деятельности. Наиболее совершенный Р представляет собой машину, способную самостоятельно и в комплексе решать задачи самоуправления, адаптации с окружающей средой и выполнения трудовых воздействий. Различаясь техническим уровнем и показателями систем управления, информационного обеспечения и исполнительных органов, роботы образуют обширный класс машин, предназначенных для выполнения самых разнообразных операций. Общим признаком роботов является возможность быстрой переналадки для автоматического выполнения различных действий, предусмотренных программой.

Технические системы, характеризующиеся наличием одного или нескольких роботов, называют робототехническими (роботизированными) системами

(РТС). Они могут быть разделены на следующие классы [1]: информационные и управляющие; мобильные (движущиеся); манипуляционные.

Информационные и управляющие РТС представляют собой комплексы измерительно-информационных и управляющих средств, автоматически производящих сбор, обработку и передачу информации, а также использование ее для формирования различных управляющих сигналов. В промышленных цехах – это системы автоматического контроля и управления процессами производства. Для исследовательских работ (в атмосфере, под водой, в космосе) такие РТС могут быть оснащены средствами передвижения и защиты от окружающей среды.

Мобильные (движущиеся) РТС обеспечивают автоматическое перемещение полезной нагрузки в пространстве. Могут иметь запрограммированный маршрут движения и (или) автоматическое адресование цели. Оснащаются движителями различных типов: колесными, гусеничными, шагающими, водометными, винтовыми, ракетными и т.п. В промышленности применяются для обслуживания складов, межцехового и внутрицехового транспортирования материалов, деталей, инструмента и оснастки. Такие подвижные РТС часто оснащаются манипуляторами.

Манипуляционные РТС предназначены для имитации двигательных функций руки человека. Наибольшее развитие и практическое применение они получили в промышленности, где их называют промышленными роботами. Манипуляционные промышленные роботы относят к обширному классу машин, оснащаемых манипуляторами.

Манипулятор (М) — устройство для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении объектов в пространстве, оснащенное рабочим органом.

Объектом манипулирования называют тело, перемещаемое в пространстве манипулятором. К объектам манипулирования относят заготовки, детали, захватные устройства, вспомогательный, мерительный или обрабатывающий инструмент, технологическую оснастку и т.п.

Метод управления манипулятором наиболее полно характеризует уровень автоматизации конструкции и возможность ее применения в различных условиях. По методу управления все М можно разделить на биотехнические (с ручным управлением), интерактивные (со смешанным управлением) и автоматические. Классификация манипуляторов представлена на рис. 2.2.

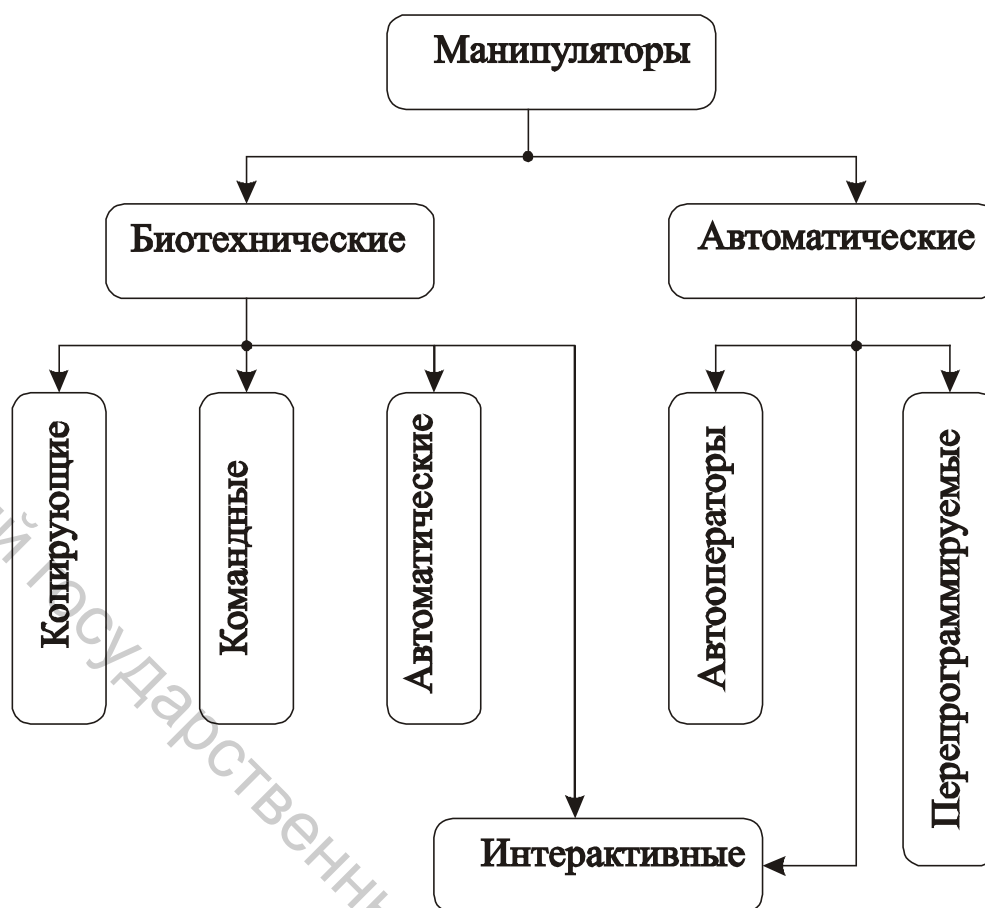


Рис.2.2 – Классификация манипуляторов

Манипулятор с ручным управлением (биотехнический) – М, управляемый оператором. Это управление может осуществляться дистанционно или (и) непосредственно за счет перемещения рабочего органа М.

В состав структурной схемы М входят приведенные ниже основные элементы.

Задающий орган — функциональная часть М, предназначенная для создания управляющих сигналов и движений.

Исполнительный орган — функциональная часть М, предназначенная для выполнения действий по сигналам и движениям, поступающих от задающего органа.

Связующий орган предназначен для передачи сигналов и движений от задающего к исполнительному органу.

Рабочий орган — часть исполнительного органа, предназначенная для реализации технологического назначения М (выполняется в виде захватов, инструмента и т. п.).

В зависимости от типа задающего органа биотехнические М могут быть трех разновидностей.

В *копирующем* М движение рабочего органа повторяет перемещение кисти руки оператора. Задающее устройство кинематически подобно исполнительному механизму (обычно снабжается устройствами, позволяющими оператору ощутить в масштабе силы, действующие на исполнительный механизм).

В *командном* (некопирующем) М движение рабочего органа не связано кинематически с задающим устройством, а управление осуществляется по каждой из степеней подвижности отдельности с помощью кнопок, рукояток и т. п.

В *полуавтоматическом* М задающая система включает в себя рукоятку, управляющую несколькими степенями подвижности, и малую ЭВМ или специальный вычислитель, которые преобразуют сигналы с рукоятки в сигналы, управляющие движениями исполнительных или рабочих органов.

Функциональные схемы основных видов биотехнических манипуляторов выполняют по принципу копирующего управления, по принципу раздельного управления приводами (командная система) и управления от задающего устройства типа рукоятки.

Все биотехнические М отличаются от автоматических отсутствием устройств памяти и требуют непрерывного участия оператора в процессе управления.

Одной из наиболее распространенных разновидностей биотехнических манипуляторов являются сбалансированные (шарнирные сбалансированные) манипуляторы с ручным управлением, содержащие систему уравнивания рабочего органа.

В **автоматическом** М выполнение рабочих функций обеспечивается без участия оператора.

К числу автоматических манипуляторов могут быть отнесены автооператоры (А), промышленные роботы (ПР) и манипуляторы с интерактивным управлением (ИМ).

Автооператор (А) – автоматическая машина, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора (или совокупности М и устройства передвижения) и неперепрограммируемого устройства управления, другими словами, А – неперепрограммируемый автоматический М.

Промышленный робот (ПР) — автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде М, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций (по ГОСТ 25686—85). В технической литературе часто встречается и более короткое определение: ПР — перепрограммируемый автоматический М промышленного применения. Характерными признаками ПР являются автоматическое управление; перепрограммируемость – способность к быстрой автоматической или при помощи человека-оператора замене управляющей программы (к изменению последовательности, системы и содержания команд); способность к выполнению трудовых действий.

Интерактивный робот — попеременно управляемый оператором или действующий автоматически. В отличие от биотехнических, интерактивные системы имеют устройства памяти для автоматического выполнения отдельных действий. В зависимости от формы участия человека интерактивное управление может быть двух видов: 1) автоматизированное, т. е. чередование во времени автоматических режимов управления с биотехническими; 2) супервизорное, ко-

гда все части заданного цикла операций выполняются роботом автоматически поэтапно, но переход от одного этапа к другому может осуществляться только после подачи оператором необходимой целеуказательной команды.

Разновидностью интерактивного управления является диалоговое управление, предполагающее разнообразные формы общения оператора с системой управления (на языках любого уровня, включая подачу команд голосом, текстом и т. п.).

2.3 Структура роботизированного комплекса

Механическая система (МС) обеспечивает выполнение двигательных функций и реализацию технологического назначения ПР. Ее часто называют собственно манипулятором. МС представляет собой пространственный механизм с разомкнутой кинематической цепью. Конструктивно МС состоит из следующих основных узлов: несущих конструкций, приводов, передаточных механизмов, исполнительных механизмов и захватных устройств.

Исполнительный механизм ПР (или М) – совокупность подвижно соединенных звеньев МС, предназначенных для воздействия на объект манипулирования или обрабатываемую среду. Исполнительный механизм, осуществляющий транспортирующие и ориентирующие движения, называют рукой ПР. Если звенья исполнительного механизма ПР соединены между собой только вращательными кинематическими парами, то в совокупности они образуют руку шарнирного типа (шарнирную руку).

Захватное устройство — узел механической системы ПР, обеспечивающий захватывание и удержание в определенном положении объекта манипулирования. Эти объекты могут иметь различные размеры, форму и массу, поэтому захваты относят к числу сменных элементов ПР и М. Как правило, ПР комплектуют набором типовых (для данной модели) захватных устройств, которые можно менять в зависимости от требований конкретного рабочего задания.

Соединение звеньев МС в кинематическую цепь осуществляется с помощью кинематических пар, основные типы которых представлены на рис. 2.3.

В большинстве конструкций ПР нашли применение кинематические пары класса V – вращательные или поступательные, обеспечивающие одну степень свободы в относительном движении каждого из двух подвижно соединенных звеньев. Совокупность некоторого числа подвижных звеньев обеспечивает механизму определенное число степеней подвижности, являющееся важной характеристикой МС ПР. Числом степеней подвижности W кинематической цепи называют число степеней свободы кинематической цепи относительно звена, принятого за неподвижное [2].

Число степеней подвижности определяют по формуле Соснова-Малышева:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1, \quad (2.1)$$

где n – число подвижных звеньев кинематической цепи; p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 – число кинематических пар соответственно I, II, III, IV и V класса. Для плоских механизмов

$$W_{\text{пл}} = 3n - 2p_5 - p_4 \quad (2.2)$$

Относительные движения звеньев механической системы ПР, посредством которых реализуются степени подвижности, разделяют (см. рис. 2.3) на три группы: ориентирующие (локальные), транспортирующие (региональные) и координатные (глобальные).

Ориентирующими движениями называют перемещения захватного устройства (инструмента), соизмеримые с его размерами. Транспортирующие движения захватного устройства или инструмента в различные зоны рабочего пространства определяются размерами звеньев руки и соизмеримы с размерами рабочего места (обслуживаемого оборудования). Координатные движения – это перемещения на расстояния, превышающие размеры самого ПР и размеры обслуживаемого им оборудования или рабочего места.

Механическая система ПР может быть разделена на четыре структурных элемента, отличающихся функциональным назначением и характером выполняемых движений: основание (неподвижное звено), которым, в частности, может быть опорная конструкция или путепровод; корпус (стойка, каретка); механическая рука; захватное устройство.

Число степеней подвижности: основания $W_0 = 0$; корпуса (каретки, стойки) $W_K \geq 0$ (определяется мобильностью ПР); механической руки $W_M \geq 1$ (определяется назначением ПР); захватного устройства $W_3 \geq 0$ (в зависимости от способа удержания объекта манипулирования и конструктивного исполнения).

Маневренность M — число степеней, подвижности МС при фиксированном положении захватного устройства; определяет возможность обхода рукой препятствий в рабочем объеме и способность M к выполнению сложных операций.

Коэффициент сервиса M характеризует возможность подхода захватного устройства (конечного звена) M к заданной точке с разных направлений и дает представление о двигательных возможностях M .

Совокупность степеней подвижности на захватном устройстве (конечном звене) M позволяет ему занимать те или иные положения в некоторой области пространства, которая ограничивается конкретными связями и длиной звеньев кинематической цепи.

Совокупность возможных положений оси захвата, при которых центр его находится в заданной точке рабочего пространства, определяет телесный угол V , называемый пространственным углом обслуживания, или углом сервиса.

Отношение $\xi = \frac{\theta}{4\pi}$ называют коэффициентом сервиса в данной точке.

Он может изменяться от нуля на границе рабочего пространства (где ось захвата может занимать только одно положение) до единицы для точек так называемой зоны 100 %-ного, или полного, сервиса (в этих точках ось захвата может занимать любое пространственное положение).

Полным коэффициентом сервиса ПР и M принято называть среднее значение коэффициента сервиса в рабочем пространстве объемом V :

$$\xi = (1/V) \int_{(V)} \xi_i dV .$$

Коэффициент сервиса ξ дает возможность качественной оценки кинематических свойств ПР в целом.

Расчеты полного коэффициента сервиса и значений ξ_i в разных точках рабочего пространства производят с помощью ЭВМ.

Оценка кинематических свойств М коэффициентом ξ позволяет выбрать рациональный вариант структурной схемы руки. Задача оптимизации сводится к выбору для звеньев, вида и расположения кинематических пар, при которых значения ξ достигают максимума.

В зависимости от конструктивной схемы МС рука ПР и М может находиться в рабочем объеме, имеющем ту или иную форму, а ее движения — осуществляться в различных системах координат.

Система координатных перемещений (система координат) ПР определяет кинематику основных движений и форму рабочей зоны. К основным движениям относят все движения МС без учета движения захвата (зажима) детали, ориентирующих движений и дополнительных перемещений основания ПР.

Системы координат бывают двух видов: прямоугольные и криволинейные.

В прямоугольной системе координат (плоская и пространственная) объект манипулирования помещается в определенную точку пространства P путем прямолинейных перемещений звеньев механической системы ПР по трем (или двум) взаимно перпендикулярным осям.

В криволинейной системе координат наиболее распространены координаты: плоские полярные (перемещение объекта происходит в одной координатной плоскости в направлении радиус-вектора r и угла φ); цилиндрические, характеризующиеся перемещением объекта в основной координатной плоскости в направлениях r и φ , а также по нормали к ней z ; сферические (полярные), где перемещения объекта манипулирования в пространстве осуществляются за счет линейного движения руки ПР на величину r и ее угловых перемещений φ и θ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Разновидностью криволинейной системы является ангулярная (угловая) плоская или пространственная (цилиндрическая и сферическая) система координат, характерная для движений многозвенных шарнирных рук ПР и М.

В ангулярной плоской системе координат объект манипулирования перемещается в координатной плоскости благодаря относительным поворотам звеньев руки, имеющих постоянную длину. Ангулярная цилиндрическая система характеризуется дополнительным смещением относительно основной координатной плоскости в направлении перпендикулярной к ней координаты z . В ангулярной сферической системе координат перемещение объекта в пространстве происходит только за счет относительных угловых поворотов звеньев руки, при этом хотя бы одно звено имеет возможность поворота на углы φ и θ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Виды систем координат и примеры соответствующих им структурных кинематических схем ПР приведены на рис. 2.3.

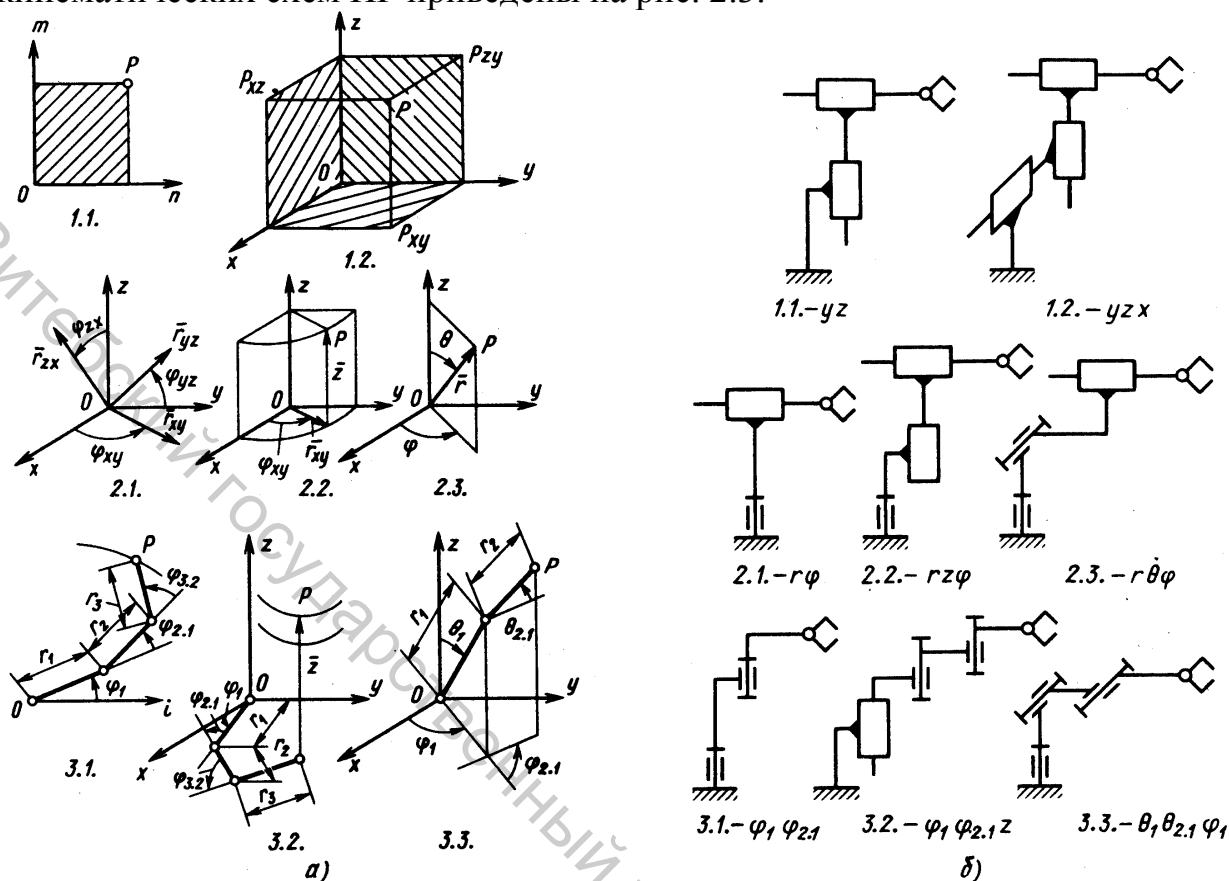


Рис. 2.3 – Системы основных координатных перемещений звеньев механической системы манипуляторов и промышленных роботов (а) и соответствующие им примеры структурных кинематических схем (б)

Обозначения: 1.1 – прямоугольная плоская система координат; 1.2 – прямоугольная пространственная система координат; 2.1, 2.2, 2.3 – полярные системы координат, соответственно плоская, цилиндрическая и сферическая; 3.1, 3.2, 3.3 – ангулярные системы координат, соответственно плоская, цилиндрическая и сферическая.

Лекция 3 Захватные устройства

План:

1. Кинематические и конструктивные схемы манипуляционных устройств.
2. Особенности исполнения манипуляторов и общие характеристики роботов.

3.1 Кинематические и конструктивные схемы манипуляционных устройств

Захватные устройства (ЗУ) промышленных роботов (ПР) и манипуляторов (М) служат для захватывания и удержания в определенном положении объектов манипулирования. Эти объекты могут иметь различные размеры, форму, массу и обладать разнообразными физическими свойствами, поэтому ЗУ отно-

сятся к числу сменных элементов ПР. Как правило, ПР и М комплектуют набором типовых (для данной модели) ЗУ, которые можно менять в зависимости от требований конкретного рабочего задания. Иногда на типовой захват устанавливают сменные рабочие элементы (губки, присоски и т. п.). При необходимости ПР оснащают специальными ЗУ, предназначенными для выполнения определенных операций. К ЗУ предъявляются требования общего характера и специальные, связанные с конкретными условиями работы. К числу обязательных требований относятся надежность захватывания и удержания объекта, стабильность базирования, недопустимость повреждений или разрушения объектов. Прочность ЗУ должна быть высокой при малых габаритных размерах и массе. Особое внимание должно быть обращено на надежность крепления ЗУ к руке ПР. При обслуживании одним ПР нескольких единиц оборудования применение широкодиапазонных ЗУ или их автоматическая смена может оказаться единственно возможным решением, если одновременно обрабатываются детали различных конфигураций и массы. Поэтому к ЗУ для ПР, работающих в условиях серийного производства, предъявляются дополнительные требования: широкодиапазонность (возможность захватывания и базирования деталей в широком диапазоне массы, размеров и формы), обеспечение захватывания близко расположенных деталей, легкость и быстрота замены (вплоть до автоматической смены ЗУ). В ряде случаев необходимо автоматическое изменение усилия удержания объекта в зависимости от массы детали.

В последнее время ведутся разработки конструкций ЗУ, способных захватывать и базировать неориентированно расположенные объекты.

На рис. 3.1 представлена классификация ЗУ по признакам, которые в большинстве случаев являются равноправными. В табл. 3.1 приведены примеры конструкций ЗУ, распределенные в соответствии с отдельными классификационными признаками.

Различают ЗУ по принципу действия.

Схватывающие ЗУ удерживают объект благодаря кинематическому воздействию рабочих элементов (губок, пальцев, клещей и т. п.) с помощью сил трения или комбинации сил трения и запирающих усилий. Все схватывающие ЗУ активного типа подразделяются на две группы: механические (клещи, тиски, шарнирные пальцы) и с эластичными рабочими камерами, деформирующимися под действием нагнетаемого внутрь воздуха или жидкости.

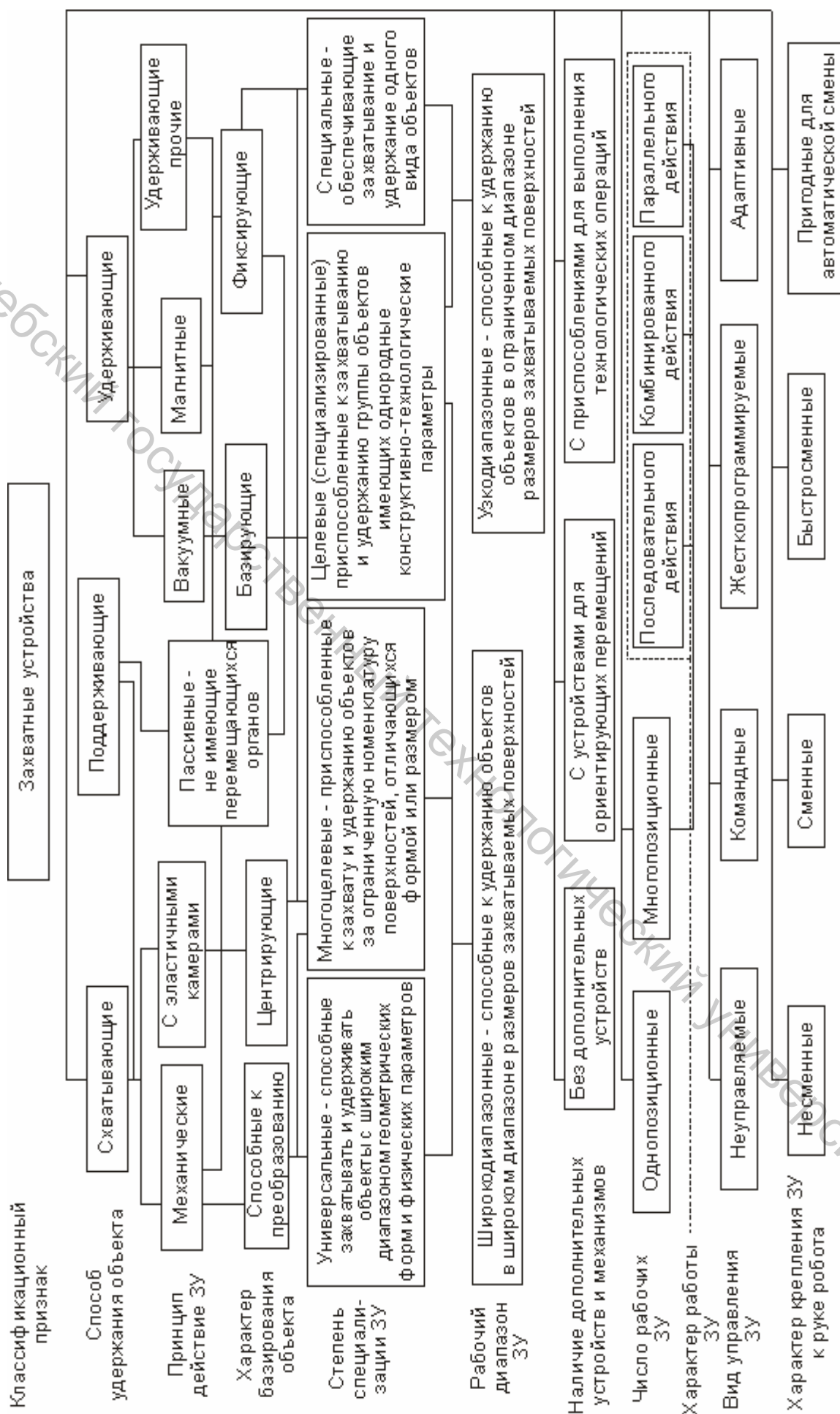


Рис. 3.1 – Классификация захватных устройств

В *поддерживающих ЗУ* для удержания объекта используют нижнюю поверхность, выступающие части объекта или имеющиеся в его корпусе отверстия. К этим ЗУ относят крюки, петли, вилки, лопатки и захваты питателей, не зажимающие заготовок.

Удерживающие ЗУ обеспечивают силовое воздействие на объект благодаря использованию различных физических эффектов. Наиболее распространены вакуумные и магнитные ЗУ. Встречаются ЗУ, использующие эффект электростатического притяжения, адгезии, ЗУ с липкими накладками и т.п.

По характеру базирования захватные устройства делят на пять групп.

Способные к перебазированию объекта ЗУ изменяют положение удерживаемой детали благодаря управляемым действиям рабочих элементов. Этим свойством обладают антропоморфные ЗУ с управляемыми шарнирными пальцами.

Центрирующие ЗУ определяют положения оси или плоскости симметрии захватываемого объекта. К ним прежде всего относят механические ЗУ, оснащенные кинематически связанными рабочими элементами, имеющие губки в виде призм и др. Иногда это могут быть ЗУ с эластичными камерами.

Базирующие ЗУ определяют положение базовой поверхности (или поверхностей). Такой принцип базирования характерен для поддерживающих ЗУ. Однако он часто применяется и в схватывающих ЗУ.

Фиксирующие ЗУ сохраняют положение объекта, которое тот имел в момент захватывания.

Не обеспечивающие базирования или фиксации объекта ЗУ почти не применяют для оснащения ПР.

В зависимости от назначения (например, для сборочных ПР) ЗУ могут оснащаться дополнительными приспособлениями для выполнения ориентирующих перемещений, а также приспособлениями для выполнения некоторых технологических операций (например, гайковертом, запрессовщиком или ножницами для отрезки литниковой системы при съеме пластмассовых изделий из камер термопластоавтоматов).

По числу рабочих позиций ЗУ можно разделить на однопозиционные и многопозиционные. По характеру работы многопозиционные ЗУ можно разделить на три группы: последовательного, параллельного и комбинированного действия. К ЗУ последовательного действия относят двухпозиционные устройства, имеющие загрузочную и разгрузочную позиции. Рабочие элементы на каждой позиции действуют независимо. Многопозиционные ЗУ параллельного действия имеют ряд позиций для одновременного захватывания или высвобождения группы деталей. ЗУ комбинированного действия оснащены группами параллельно работающих позиций, причем группы эти приводятся в действие независимо одна от другой.

По виду управления ЗУ подразделяют на четыре группы.

Неуправляемые ЗУ — пружинные механические устройства с постоянными магнитами или с вакуумными присосками без принудительного разрежения. Для снятия объекта с таких ЗУ требуется усилие большее, чем усилие его удержания.

Командные ЗУ управляются только командами на захватывание или отпускание объекта. К этой группе относят ЗУ с пружинным приводом, оснащаемые стопорными устройствами и срабатывающие через такт. Разжимаются и зажимаются губки пружинных ЗУ благодаря взаимодействию их с объектом манипулирования или элементами внешнего оборудования (аналогично механизмам, используемым в некоторых конструкциях шариковых авторучек).

Жесткопрограммируемые ЗУ управляются СУ ПР. Величина перемещения губок, взаимное расположение рабочих элементов, усилие зажима в таких ЗУ могут меняться в зависимости от заданной программы, которая может управлять и действием вспомогательных технологических приспособлений.

Адаптивные ЗУ — программируемые устройства, оснащенные различными датчиками внешней информации (определения формы поверхности и массы объекта, усилия зажима, наличия проскальзывания объекта относительно рабочих элементов ЗУ и т. п.).

По характеру крепления к руке ПР все ЗУ можно разделить на четыре группы.

Несменяемые ЗУ — устройства, являющиеся неотъемлемой частью конструкции робота, замена которых не предусматривается.

Сменные ЗУ — устройства, представляющие собой самостоятельные узлы с базовыми поверхностями для крепления к роботу. При этом их крепление не предусматривает быстрой замены (например, установка на фланце с помощью нескольких винтов).

Быстросменные ЗУ — сменные ЗУ, у которых конструкция базовых поверхностей для крепления ЗУ к роботу обеспечивает их быструю смену (например, исполнение в виде байонетного замка).

Пригодные для автоматической смены ЗУ — устройства, у которых конструкция базовых поверхностей обеспечивает возможность их автоматического закрепления на руке робота.

3.2 Особенности исполнения манипуляторов и общие характеристики роботов

Захват роботом различных предметов выполняет устройство, получившее название *схват*. Схваты достаточно сложны по своей конструкции, поэтому примерно 5—10% стоимости робота составляют затраты на эти устройства. К ним предъявляются следующие требования: высокая надежность захвата, удержание объекта манипулирования, стабильность базирования, легкость и быстрота замены, универсальность, малые масса и габариты.

Схваты роботов классифицируют (рис. 3.2): по кинематике захвата объекта, типу пальцев и приводу, характеру контакта с поверхностью, по числу пальцев и др.

Кинематика захвата предмета схватом во многом определяется его формой. Многообразие предметов рождает большое число различных конструктивных решений захватных устройств. В простейшем случае объекты манипулирования можно разделить на плоские (листовое стекло, шайбы), тела враще-

ния (валы, фланцы, цилиндры, бутылки, конусы), формы параллелепипеда (коробки, контейнеры, телевизоры), сложной конфигурации (телевизионные трубки, лобовые и задние стекла автомобиля, штампованные детали) и изменяемой формы (ткани, шланги, провода, резиновые прокладки). При всем многообразии объектов манипулирования простейший *двухпальцевый схват* удерживает почти 50 % из них, *трехпальцевый* — 90%, *четырепальцевый* — 99 %. Процесс сборки во многих отраслях промышленности характеризуется тем, что форму цилиндрического тела вращения и прямоугольного параллелепипеда имеет большинство деталей. Первые составляют примерно 60%, а вторые — 30 %. Конструкцию схвата определяют и размеры деталей. Так, если вписать деталь в некоторую окружность, то для работы с предметами, отличающимися диаметрами не более чем на 30 %, целесообразно применять двухпальцевые схваты клещевого типа с угловым перемещением пальцев друг относительно друга. Если же диаметры деталей превышают эту цифру, но не более чем в два раза, желательно выбирать также двухпальцевый схват, однако уже с поступательным перемещением пальцев. При значительном отличии диаметров описанных окружностей используются трех- или четырехпальцевые схваты.

По геометрии контакта с предметом схваты могут быть с односторонним, двух-, трех- и многосторонним действием. К *односторонним схватам* (они вступают в контакт только с одной поверхностью предмета) относятся конструкции типа вакуумных или магнитных присосок, обычный крюк, используемый для подъема грузов, липкие, вибрирующие и игловые ленты.

В *схватах двухстороннего действия* имеется два жестких прижима. Захват поверхностей объекта манипулирования в этом случае может проходить в двух точках (рис. 3.3, а), по двум линиям (рис. 3.3, б), по двум поверхностям (рис. 3.3, в). Выбор характера сближения пальцев с объектом, кроме того, зависит от состояния поверхности, прочности шероховатости предмета. Для надежного удержания предмета, которое происходит за счет сил сухого трения, в большинстве случаев достаточно двухстороннего контакта.

Схваты трехстороннего действия (рис. 3.4) придают системе большую универсальность, однако при этом существенно усложняется их конструкция, увеличивается масса пальцев и приводов, осуществляется обхват объекта со всех сторон, растет надежность удержания предмета за счет увеличения числа точек контакта и сил трения. Схват может иметь трубчатые пальцы, которые размещаются под определенным углом друг относительно друга и перемещаются в радиальном направлении. Последнее позволяет захватывать цилиндрические тела не только с наружной, но и с внутренней стороны. При переносе прямоугольных деталей с гранями два пальца схвата должны прилегать к одной, а третий — к противоположной грани детали.

Работы по созданию *четырепальцевых схватов* находятся пока на этапе исследовательской проработки. Управление ими во многом аналогично трехпальцевым, однако система управления пальцами в этом случае оказывается более простой. Дополнительные возможности при манипулировании с объектами возникают при использовании пальцев, вращающихся относительно соб-

ственной оси. При этом профили поверхности пальца могут изменяться.

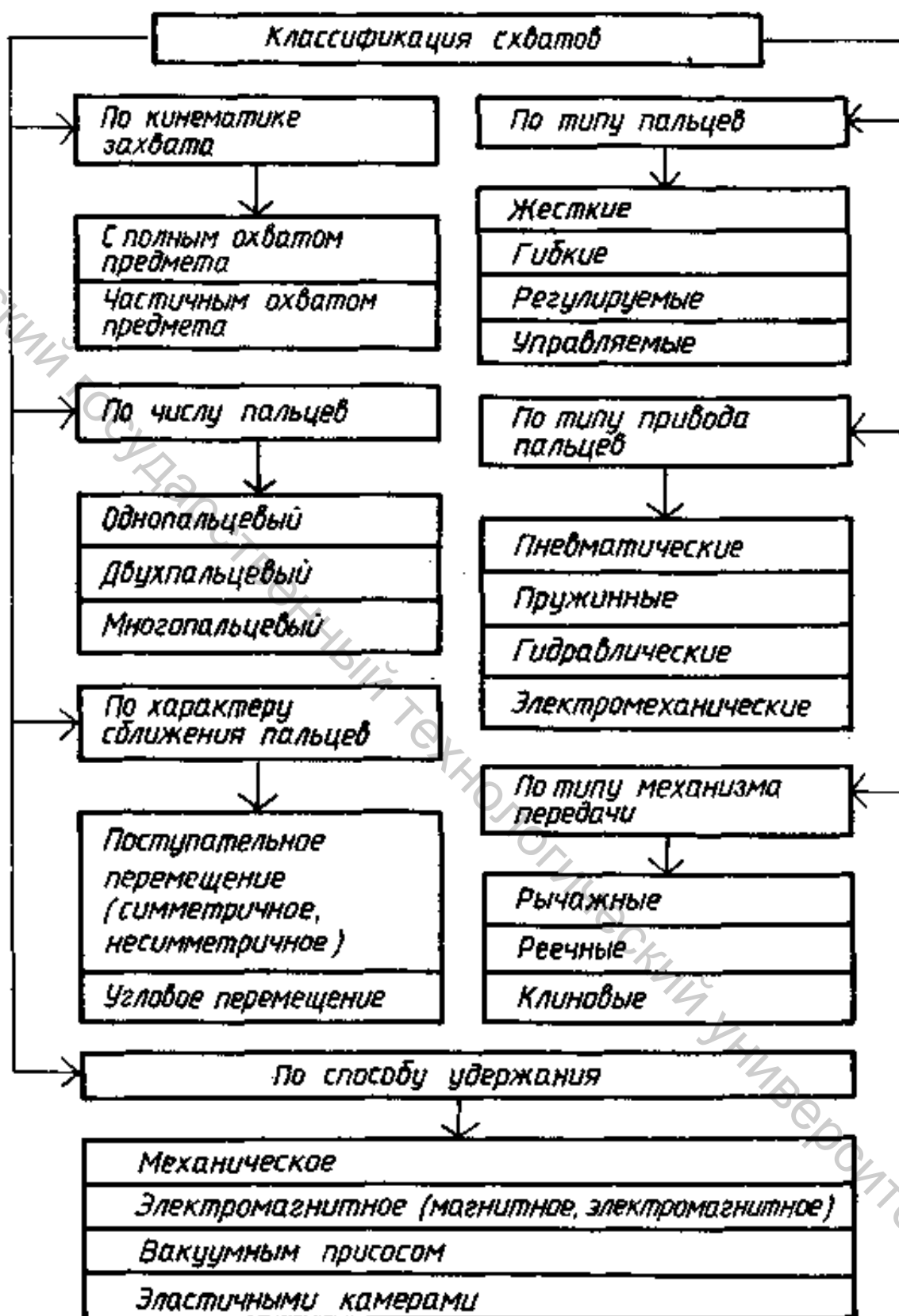


Рис. 3.2



Рис. 3.3

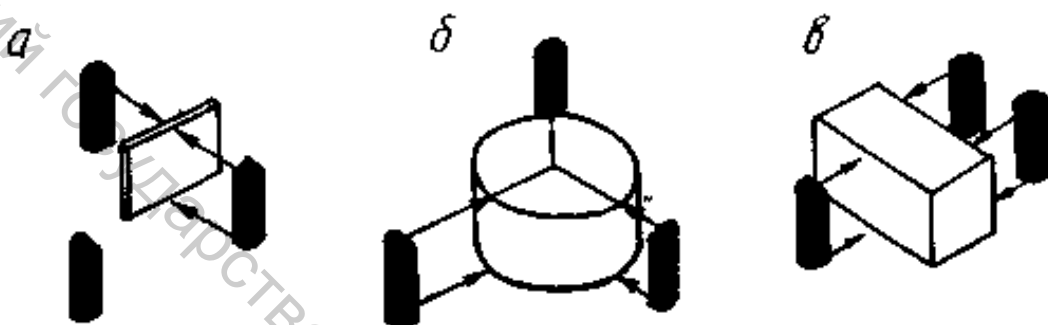


Рис. 3.4

Схваты могут быть *стационарными*, *сменными* и *быстросменяемыми*. Места и размеры крепления схватов унифицированы. При использовании сменных схватов необходимо в пределах зоны манипулирования иметь магазинное устройство (стойка или поверхность поворотного стола с гнездами). Смена схватов проводится в автоматическом режиме самими роботами. Вначале происходит стыковка двух конических штифтов, а затем соединение электрических и пневматических линий.

Всего хват может передавать 30 электрических и 7 пневматических сигналов. Электрические контакты этого разъема являются достаточно мощными, что позволяет подключать инструмент с потреблением тока до 8А.

Механические схваты применяются для удержания предметов, имеющих непрерывные поверхности, центральное положение центра тяжести, правильную геометрическую форму (рис. 3.5, а). Для предметов без специфических контуров, со сложными присоединительными поверхностями, нецентральным расположением центра тяжести используют механические схваты с кинематическим замыканием охватываемых поверхностей (рис. 3.5, б).

Магнитные и электромагнитные захватные устройства служат для манипулирования ферромагнитными предметами с гладкими поверхностями. Электромагнитные схваты отличаются простотой конструкции, скоростью захватывания, значительной силой притяжения на единицу поверхности. Основной их недостаток — после манипулирования в предмете остается намагниченность, возникает опасность загрязнения и повреждения детали.

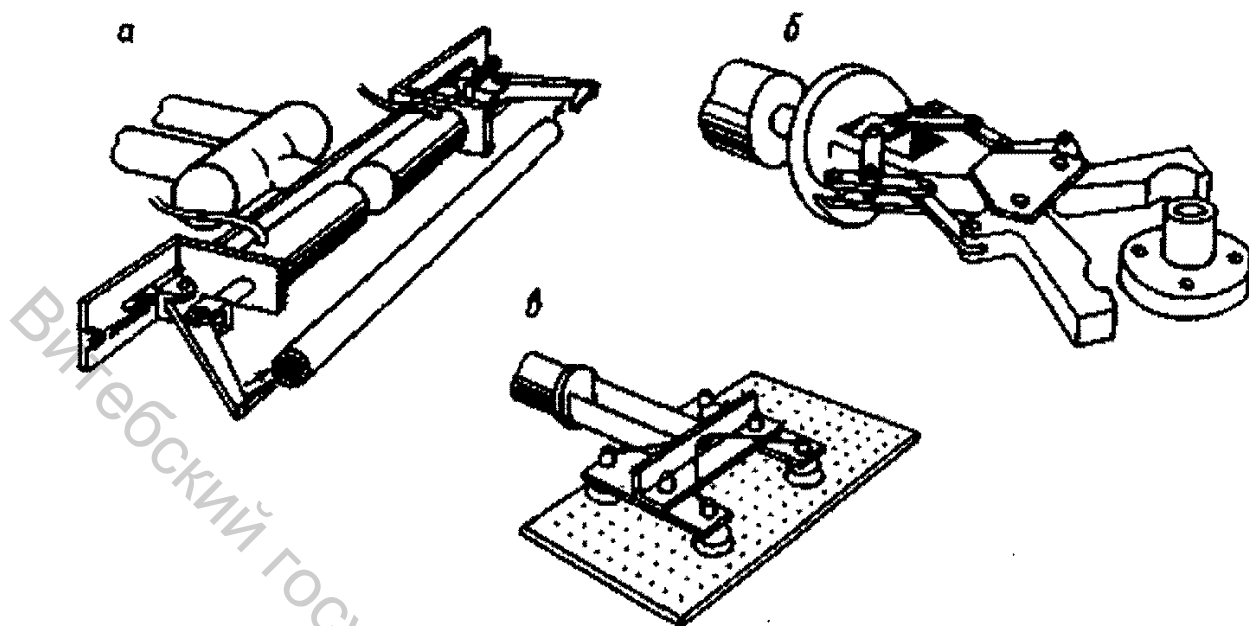


Рис. 3.5

Вакуумные захватные устройства (рис. 3.5, в) надежно удерживают детали с гладкими, ровными поверхностями массой до 20 кг. Это происходит за счет разряжения воздуха, создаваемого между поверхностью предмета и вакуум-присосом. Схваты имеют большую площадь контакта с предметом и требуют симметричного расположения центра тяжести у объекта манипулирования. Однако они относительно недолговечны, потребляют значительное количество сжатого воздуха, между присосом и поверхностью детали не должно быть частиц масла и пыли, для создания разряжения между присосом и предметом необходимо время. Последнее обстоятельство уменьшает быстродействие всего робототехнического комплекса. Несмотря на указанные недостатки, нежесткость схвата позволяет использовать его для манипулирования хрупкими предметами (например, колбами, электронно-лучевыми трубками и др.). Для этой же цели можно применять схваты с постоянной и переменной формами пальцев, выполненных из гофрированной резины с тонко- и толстостенными частями. При подаче во внутреннюю полость сжатого воздуха надувные подушечки эластичных камер пальцев деформируются и изгибаются.

И последнее, на что хотелось бы обратить внимание. Условия работы схватов самые трудные во всем робототехническом комплексе: они реализуют постоянный контакт с предметами, внешней, довольно часто агрессивной, средой и поэтому в наибольшей степени подвержены повреждениям. В силу этих обстоятельств необходимо быть крайне внимательным и осторожным при установке систем технического зрения на схватах роботов.

Классификация захватных устройств, оснащенных схватами, представлена на рис. 3.6.

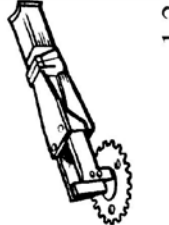
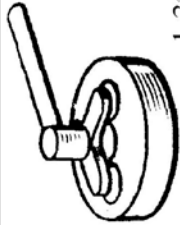
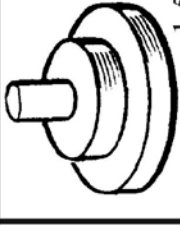
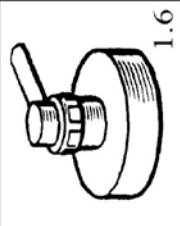
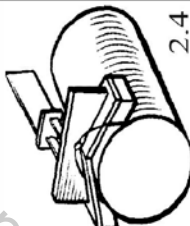
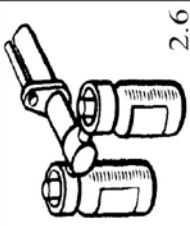
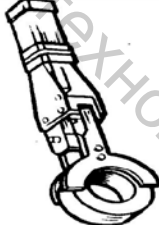
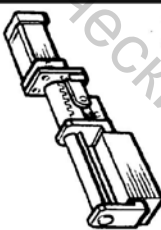
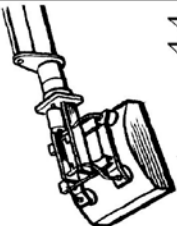
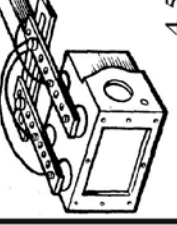
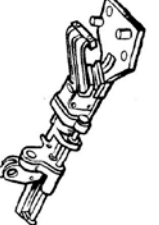
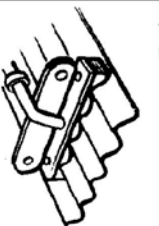
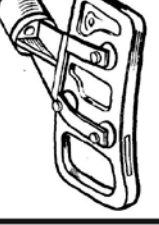
ДЕТАЛИ	МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА				ВАКУУМНЫЕ И МАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА		УСТРОЙСТВА С ЭЛАСТИЧНЫМИ КАМЕРАМИ
	ЦЕНТРИРУЮЩИЕ		БАЗИРУЮЩИЕ		центрирующие	базирующие	
	широко диапазонные	узко диапазонные					
ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ ФЛАНЦЫ							
							
ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ ВАЛЫ							
ПЛОСКИЕ ДЕТАЛИ							
ДЕТАЛИ КОРОБЧАТОЙ ФОРМЫ							
ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ							
							

Рис. 3.6 – Примеры конструкций захватных устройств, оснащенных схватами

Лекция 4 Приводы и элементы автоматики

План:

1. Классификация приводов роботов.
2. Электропривод.
3. Гидравлические и пневматические приводы.
4. Выбор и определение типа привода.
5. Гидропривод и аппаратура.
6. Пневматический привод.

4.1 Классификация приводов роботов

Манипуляторы роботов приводятся в действие при помощи исполнительных приводов, которые преобразуют электрические сигналы «электронного мозга» — управляющего устройства — в требуемое положение звена.

У человека функции исполнительных органов возлагаются на мышцы, которые состоят из пучков сокращающихся волокон. Среднее время сокращения одного волокна сто миллисекунд, а создаваемое усилие может достигать двухсот граммов. Усиление, создаваемое всей мышцей, определяется числом задействованных волокон, а плавность движений обеспечивается их последовательным подключением. В целом мышца представляет своеобразный биологический двигатель, включающий несколько тысяч более простых двигателей импульсного типа. Все они объединяются в пучки, а затем — в двигательные единицы. Мышцы крепятся к костям при помощи сухожилий по балансной схеме, образуя пары, действующие в противоположных направлениях. Такое построение объясняется принципом действия мышцы, которая по сигналу мотонейрона может создавать усилие только в одном направлении, развивая среднюю мощность 20 Вт. Мышцы обеспечивают руке человека чрезвычайно широкий диапазон линейных скоростей перемещения: от 0,001 (при тонкой сборке и регулировке) до 8 м/с (при движении кисти во время метания). В большинстве современных производственных процессов, выполняемых человеком вручную, диапазон требуемых скоростей гораздо ниже и сосредоточен в интервале от 0,05 до 0,8 м/с.

Работа исполнительных приводов в составе манипуляционных роботов по сравнению с другими устройствами имеет ряд особенностей: 1) момент инерции и величина нагрузки, прикладываемой к валу или штоку двигателей, взаимосвязаны с изменяющейся в процессе работы конфигурацией манипулятора; 2) частые остановки создают неравномерный характер работы, а следовательно, смену режимов пуска и торможения, длительное удерживание схвата в неизменном положении на рабочей позиции. При всем этом должны выполняться требования, предъявляемые к быстродействию и точности работы манипулятора; 3) конструкция манипулятора — это часто используемое пространственное рассовмещение исполнительного двигателя и звена манипулятора, удаленность от двигателя управляющего устройства на значительные расстояния. Кроме того, обработка перемещения звеньев должна иметь не колебательный

характер, исключая удары манипулятора по обслуживаемому оборудованию. Особенности работы исполнительных двигателей роботов связаны и с ограничениями, налагаемыми требованиями безопасности труда. При аварийной остановке манипулятор должен отключиться, а механическая рука — зафиксироваться в неподвижном состоянии.

Приводы роботов классифицируются по ряду характерных признаков. В зависимости от типа энергии, используемой двигателем, они могут быть *электрическими, гидравлическими и пневматическими*.

Рассмотрим принцип работы исполнительного электрического привода степени подвижности робота. Его качество в различных режимах работы оценивают с технической точки зрения специально вводимыми характеристиками. Механическая характеристика — это статическая зависимость скорости вращения выходного вала привода от приложенного к нему момента, она определяет жесткость работы привода. Качество работы во времени при отработке воздействия, поступающего на привод, оценивают и при помощи специальных динамических характеристик. К ним относят быстродействие, точность позиционирования, наличие или отсутствие колебаний звена по основной координате при остановке в районе точки позиционирования.

В промышленных роботах используют приводы *дискретного* или *непрерывного* (контурного) действия. Первые применяются в роботах с так называемым цикловым управлением, при котором скорость вращения электродвигателя производится ступенчато, в простейшем случае — с помощью реле, в дискретные моменты времени. В системах непрерывного управления выполняется непрерывное управление перемещением звена по скорости и положению. Привод последнего типа является более сложным, однако имеет лучшие характеристики (рис. 4.1). Он состоит из сравнивающего устройства 1, усилителя мощности 2, исполнительного электродвигателя 3, передаточного механизма 5, датчиков скорости вращения вала двигателя 4 и положения 6 звена 7 механической руки. Несложно заметить, что даже простое перечисление устройств, входящих в состав привода, занимает достаточно много места. Каждое из них имеет интересную историю появления и совершенствования. Все вместе они образуют как бы своеобразное «нейрошасси» робота.

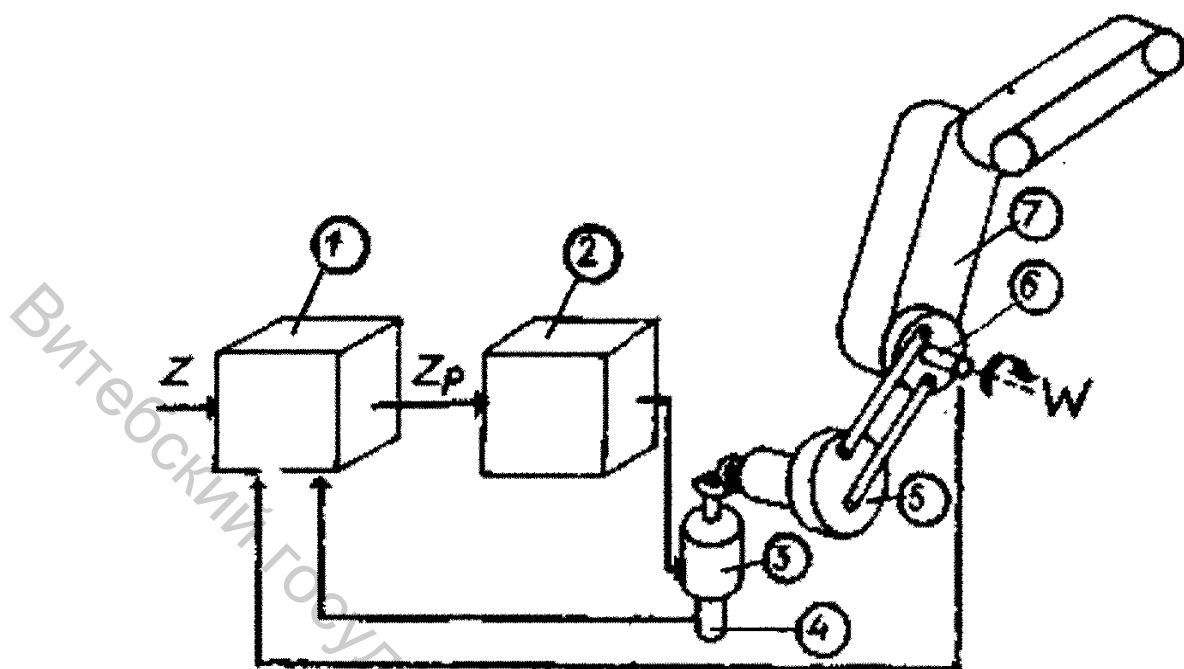


Рис. 4.1

4.2 Электропривод

Исполнительным элементом привода является двигатель. В основе действия преобразователя электрической энергии в механическую лежит закон электромагнитной индукции, открытый М. Фарадеем. Любопытно, что когда был сделан первый доклад о появлении слабого тока в катушке с проводом при движении вблизи нее магнита, один из присутствующих ученых спросил: «Какая может быть польза от этого?». На это М. Фарадей, еще не зная, что в будущем это открытие совершит революцию в технике, ответил: «Какая может быть польза от новорожденного...». 22 октября 1831 г. М. Фарадей установил между полюсами подковообразного магнита вращающийся медный диск, с которого при помощи скользящих контактов (один на оси, другой на периферии диска) можно было снимать электрическое напряжение. Это был первый электрический генератор, созданный руками человека. Вместо простой катушки и магнита современный электрический двигатель представляет сложную электрическую машину, состоящую из медных и изоляционных проводов, специального железа, стальных конструкций (рис. 4.2). Основными элементами классического электрического двигателя постоянного тока являются неподвижный статор 3 и ротор 2, вспомогательные элементы 5. Статор 3 служит для возбуждения магнитного поля и состоит из постоянных магнитов либо специальным образом намотанных проводов, по которым протекает постоянный ток. Ротор 2, или якорь, представляет собой вращающийся в статоре стальной сердечник, обмотанный проводами. Если к обмоткам ротора через специальные щетки 4 приложить постоянное напряжение, то в результате взаимодействия тока якоря с постоянным магнитным полем статора появится электродвижущая сила, наличие которой вызовет вращение вала 1 двигателя. Чем выше величина тока, тем быстрее вращается выходной вал двигателя. Таким образом, входным сигналом

для двигателя служит управляющий ток якоря, а выходным — угол поворота вала двигателя.

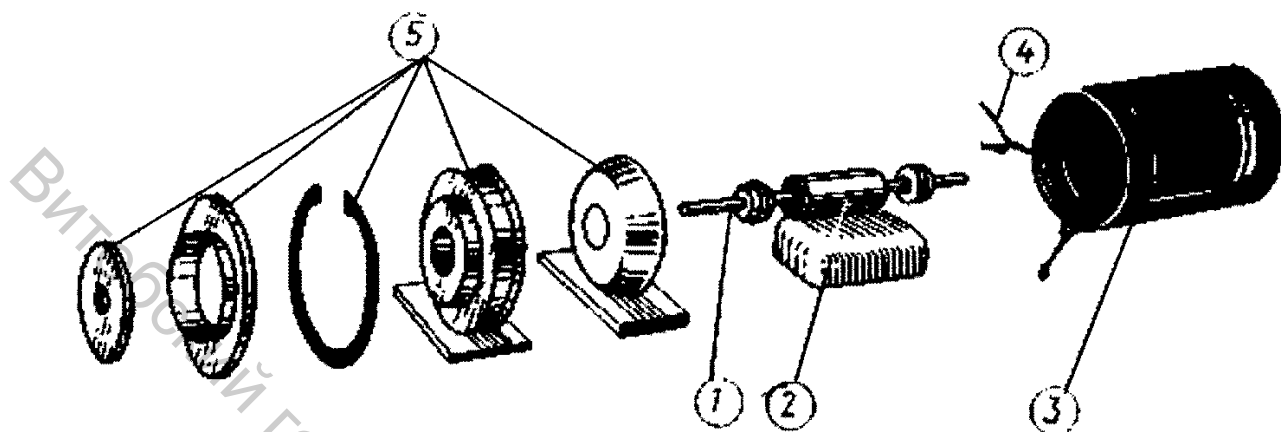


Рис. 4.2

В робототехнике широкое распространение получил электропривод, выполненный на базе двигателей постоянного тока. Основным его недостатком является относительно низкая развиваемая мощность. Так, при размещении двигателя постоянного тока на звеньях манипулятора этот параметр должен иметь величину порядка 150 Вт/кг. Значению этого показателя в наибольшей степени отвечают двигатели постоянного тока с независимым возбуждением от постоянных магнитов. На несущей конструкции такого двигателя устанавливаются магниты, которые создают осевое статическое поле. Якорь двигателя представляет собой катушку, расположенную в зазоре магнитной системы в плоскости, перпендикулярной к оси вращения вала. Конструктивно катушка может выполняться в виде тонкого диска, на который с двух сторон фотохимическим способом нанесены печатные обмотки. К диску при помощи щеток подводится управляющее напряжение. Так как магнитный поток циркулирует большей частью в воздухе, то индуктивность якоря оказывается незначительной. Кроме того, из-за относительно малых масс диска инерционность вращающихся частей всего двигателя также оказывается незначительной. Форма и габариты подобных двигателей с дисковым якорем отличаются от классических большей компактностью. Приведем основные технические характеристики реверсивного двигателя постоянного тока ПЯ-250Ф, используемого в промышленном роботе ТУР-10К: мощность — 250 Вт, напряжение питания — 36 В, коэффициент полезного действия — 70 %, вращающий момент — 0,8—0,16 Н/м, номинальные частота вращения выходного вала — 3000 об/мин, ток якоря — 10 А.

Задача системы механической передачи движения заключается в передаче мощности исполнительного двигателя к сочленениям робота. Скорости вращения выходного вала электрического двигателя, как уже отмечалось, достаточно высоки (порядка 50 об/с) и зависят от типа исполнительного двигателя. Требуемые выходные скорости перемещения системы передачи движения оп-

ределяются параметрами технологического процесса и могут также колебаться в значительных пределах. Так, для типовых процессов сборки и окраски угловые скорости относительного вращения звеньев составляют 0,35—0,40 об/с, поэтому система передачи движения, кроме функций передачи мощности, от двигателя к звену играет еще роль понижающего скорость вращения преобразователя с коэффициентом, равным примерно 100:1. Аналогичным образом обстоит дело и с поступательными перемещениями. Типовые скорости перемещения звена — 1 м/с, поэтому при наличии поступательно перемещающихся звеньев также приходится преобразовывать вращательное движение в поступательное с понижением скорости.

Устройств передачи механической энергии от двигателя к звеньям механической руки довольно много. Рассмотрим некоторые из них.

Шарико-винтовая передача (рис. 4.3) преобразует вращательное движение вала двигателя в поступательное движение звена манипулятора при помощи винтовой пары, внутри которой перемещаются по замкнутому контуру шарики. Главная отличительная особенность такого типа передачи — высокая плавность хода и возможность почти полной выборки зазоров. Кроме того, можно реализовать значительные скорости выходного поступательного движения (0,3—0,5 м/с). Недостаток шарико-винтового механизма — чувствительность к поперечным колебаниям, возникающим в работе при движении остальных звеньев.

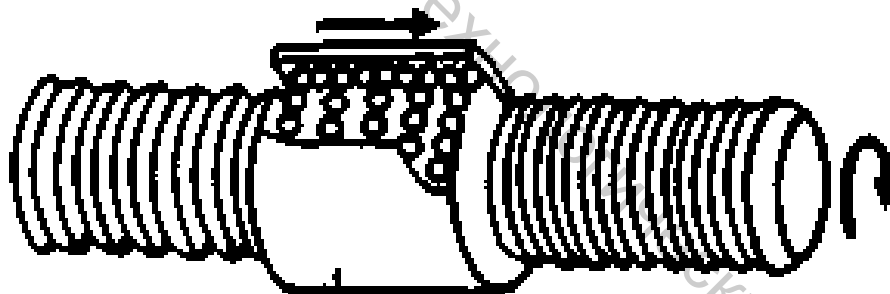


Рис. 4.3

Зубчато-реечная передача (рис. 4.4) также преобразует вращательное движение в поступательное. Ротор высокомоментного двигателя привода соединен с зубчатой шестерней 1 непосредственно со звеном манипулятора 2. При этом скорости движения звеньев могут достигать 0,5—1,0 м/с. Недостатком является относительно низкая плавность хода.

Волновой редуктор (от лат. *reducure* — приводить обратно, возвращать) позволяет передавать движение от вала двигателя к валу звена с изменением частоты вращения. Он имеет высокий коэффициент полезного действия, малые габариты и массу. Преобразование движения, направление которого показано стрелками (рис. 4.5), осуществляется колесными парами с внутренними и наружными зубчатыми венцами. В отличие от зубчатой, волновая передача имеет

гибкое эластичное внутреннее колесо 2 с наружным венцом и жесткое внешнее колесо 1 с внутренним венцом. Число зубьев у последнего больше, чем у внутреннего. Третий важный элемент передачи — генератор волн 3. Это эллиптический кулачок, который попеременно вытягивает из эластичного колеса 2 отдельные участки и вводит их в зацепление с зубчатым венцом наружного колеса 1. Генератор волн 3 приводится во вращение исполнительным двигателем и постоянно придает овальную форму гибкому колесу 2, что вызывает зацепление его наружных звеньев с внутренними зубьями жесткого колеса 1 в двух равноотстоящих точках зацепления, лежащих на большей оси генератора. В результате осуществляется непрерывное волновое движение, так как одновременно происходит полное расцепление зубьев в двух противоположных точках меньшей оси генератора волн 3. Число зубьев гибкого колеса 2 должно быть на два меньше, чем у жесткого 1. Поэтому один полный оборот генератора волн 3 вызывает смещение зубьев гибкого колеса 2 относительно жесткого 1 в направлении, противоположном вращению генератора волн 3. Таким образом, все три элемента функционируют, как редуктор. Для реального волнового редуктора, используемого в промышленном роботе ТУР-10К, число зубьев на гибком колесе равно 205, на жестком — 207, передаточное отношение составляет 102,5, развиваемый номинальный момент — 10 кг/м. В зацеплении одновременно находится от 10 до 50 % зубьев, поэтому на каждый из них приходится относительно небольшая нагрузка.

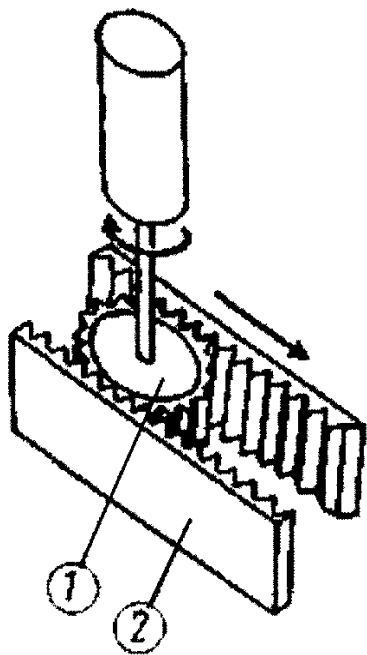


Рис. 4.4

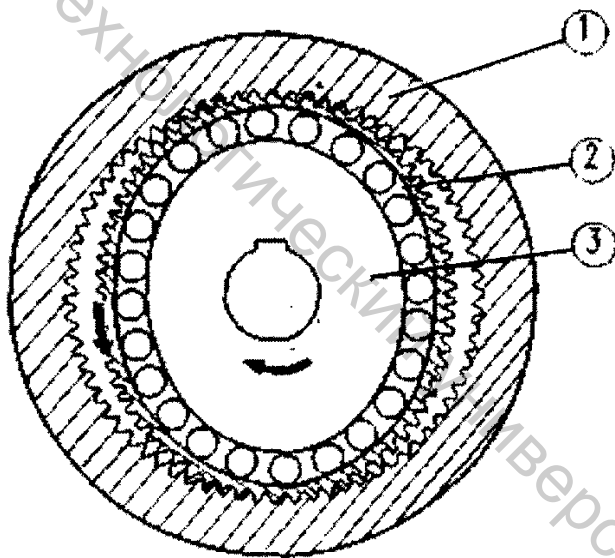


Рис. 4.5

Цепные передачи, ленты и приводные ремни обеспечивают передачу вращательного движения между валами, продольные оси которых параллельны. Используются в том случае, когда ведомый и ведущий валы расположены на достаточном расстоянии друг от друга (рис. 4.6). Если ленты или ремни выполнены профилированными (рис. 4.7, а, б), вероятность проскальзывания резко снижается и возникает возможность для передачи больших мощностей.

Область применения цепных передач механизмов (рис. 4.8) — передача медленных движений к шарнирам сочленения при относительно небольшой нагрузке. Следует отметить, что при непосредственном соединении вала исполнительного двигателя с цепной передачей при больших скоростях вращения возможно возникновение вибраций.

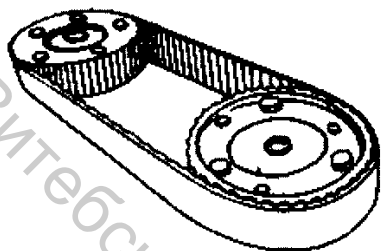


Рис. 4.6

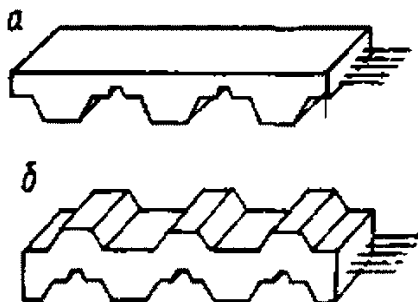


Рис. 4.7

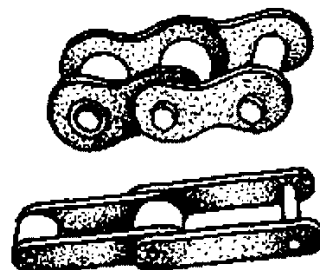


Рис. 4.8

Шарнирно-рычажные передачи 1 (рис. 4.9) обладают большой жесткостью и высокой устойчивостью к изгибу. Проектируются в составе механической системы манипулятора 2. При оценке степени совершенства системы механической передачи важными характеристиками являются жесткость, передаточное отношение и коэффициент полезного действия (табл. 4.1).

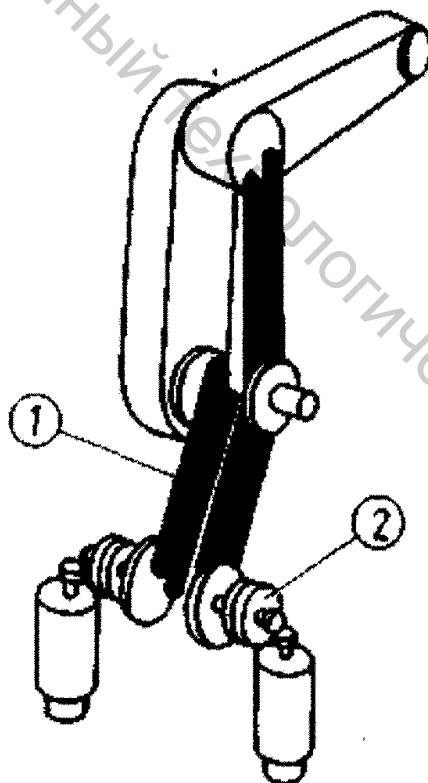


Рис. 4.9

Для эффективного управления работой двигателя, входящего в состав исполнительного привода, необходимо выполнить два условия. Во-первых, управляющий сигнал, поступающий на обмотку ротора, должен быть доста-

точно мощным, так как токи, управляющие положением вала двигателя, достигают 10 А. В то же время сигналы, поступающие от управляющего устройства и датчиков робота,— маломощны, поэтому в составе любого электропривода робота имеется усилитель электрического сигнала по мощности 2 (см. рис. 7.1). Во-вторых, управляющий сигнал, поступающий на вход усилителя мощности, должен формироваться с учетом ряда факторов. Главным из них является учет имеющихся различий в положении звена робота и желаемом, закодированном в электрическом сигнале, поступающем с управляющего устройства. Учет этой информации существенно повышает точность работы привода, так как реализуется важный кибернетический принцип управления с обратной связью. Необходимость получения такого рода информации предопределяет наличие в составе привода датчика положения. Электрическая цепь, по которой сигналы поступают в сравнивающее устройство, получила название цепи обратной связи.

Таблица 4.1— Характеристики основных передач

Тип звеньев	Тип передачи	Характеристика		
		жесткость, м/рад	передаточное отношение	кпд
Поступательное	Шарико-винтовая	10^7 - 10^8	500-1600	0,9-0,98
	Зубчато-реечная	10^6 - 10^7	50-200	0,9-0,98
Вращательное	Зубчато-цилиндрическая	10^4 - 10^7	50-100	0,9-0,98
	Планетарная	10^4 - 10^5	30-200	0,96-0,98
	Волновая	$10^4 \sim 10^5$	80-250	0,7-0,9
	Шарнирно-рычажная	10^6 - 10^8	250-350	0,9-0,98

Кроме обратной связи, для повышения качества работы привода в режиме движения по желаемой траектории дополнительно вводят обратные связи по скорости. Для получения информации о скорости вращения выходного вала двигателя используют *тахогенератор* (от лат. *tachys* — быстрый, скорый и *generare* — родитель, производитель).

Это электромеханическое устройство, вырабатывающее выходное напряжение, величина которого пропорциональна скорости вращения вала. Направление вращения определяется полярностью вырабатываемого напряжения.

Тахогенераторы могут работать в следящих приводах постоянного и переменного тока. Тахогенератор постоянного тока по своему действию аналогичен двигателю постоянного тока. Магнитное поле создается постоянными магнитами, поэтому подвода дополнительных цепей питания для него не требуется. Согласно закону М. Фарадея, в момент, когда обмотка ротора пересекает постоянное магнитное поле, в ней наводится электродвижущая сила, пропорциональная скорости вращения ротора. Тахогенераторы имеют малые габариты (не более спичечного коробка), высокую линейность характеристик, малый момент инерции. Использование их в составе исполнительного привода позволяет демпфировать (от нем. *dampfer* — приспособление для успокоения механических колебаний) перемещения механической руки относительно заданной точки позиционирования. Этот эффект достигается регулированием величины входного сигнала усилителя мощности. Применение тахогенератора сделало возможным осуществить поглощение части энергии за счет управления колеблющейся системы привод — манипулятор и обеспечить требуемую жесткость всему электроприводу. С учетом второго условия для выработки электрического сигнала, идущего на вход усилителя мощности, в состав привода вводят специальное сравнивающее устройство 1 (см. рис. 4.10), в котором алгебраически суммируются электрические сигналы воздействия, поступающего с выхода управляющего устройства и датчиков обратных связей 4 и 6. Кроме того, дополнительно могут включаться устройства коррекции (от лат. *corrector* — исправитель), придающие приводу желаемые динамические свойства.

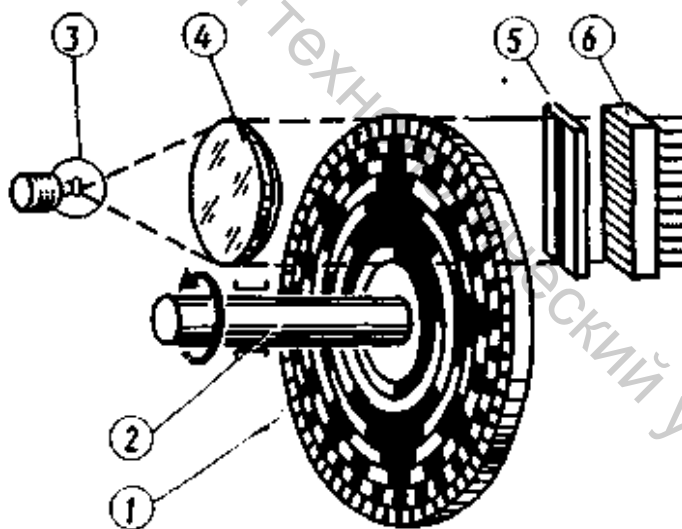


Рис. 4.10

Задачи, решаемые сравнивающим устройством, могут реализовываться аналоговыми усилителями постоянного тока с навесными элементами либо микропроцессорами.

Измерителями в электроприводе роботов служат потенциометры и кодовые датчики.

Потенциометр преобразует угловое перемещение движка, жестко связанного с осью звена, в выходное напряжение. Его чувствительность может достигать 0,08—2,5 В/гр. Точность проволочных датчиков составляет 0,05 %,

плёночных — 0,01 %, срок службы — 10 млн. циклов при частоте вращения движка 100 об/мин. Иногда используют бесконтактные оптоэлектронные потенциометры, которые конструктивно отличаются от обычных отсутствием подвижного механического контакта. Величина измеренного сигнала передается в сравнивающее устройство.

Кодовые датчики преобразуют угол поворота движка не в непрерывные сигналы, а в последовательность импульсов. Главным элементом датчика (рис. 4.10) является кодирующий диск 1 с системой считывания (использованы оптические элементы 4 и 5). С одной стороны диска 1 располагается световой источник 3, с другой — фотоприемники 6. На диске имеется ряд щелей. В момент измерения свет проходит только через те щели, которые соответствуют данному угловому положению вала 2, связанного со звеном робота. При этом угловое положение в фотоприемнике 6 преобразуется в определенную кодовую комбинацию электрических сигналов. Ошибка определяется единицей младшего разряда кода. Использование датчиков позволяет повысить точность работы всего привода в несколько раз.

В качестве усилителей мощности наибольшее применение нашли *полупроводниковые* и *использующие тиристоры*. К их достоинствам можно отнести высокий коэффициент усиления, отсутствие вращающихся и трущихся частей, практически безинерционную работу.

Рассмотрим функционирование всего привода в динамике при отработке сигнала задающего воздействия, поступающего с управляющего устройства (см. рис. 7.1). Величина поступающего на вход сравнивающего устройства 1 задающего воздействия z пропорциональна требуемому угловому положению звена манипулятора. С выхода датчика положения 6 на второй вход этого устройства поступает сигнал, величина которого пропорциональна угловому положению звена. В сравнивающем устройстве 1 произойдет их вычитание. Полученное в результате этого напряжение — сигнал рассогласования z_p — поступает на корректирующие устройства, усилитель мощности 2 и управляющие обмотки исполнительного двигателя 3. Выходной вал начинает вращаться с большой скоростью. Система передачи движения снижает скорость до требуемой, угловые положения звена 7 изменяются, что вызывает уменьшение напряжения рассогласования z_p . Звено 7 начинает двигаться к желаемому угловому положению z . В момент времени t (рис. 4.11) перемещение выходного вала привода и звена желательно было бы остановить. Однако этого не произойдет из-за их инерционности. В результате механическая рука достигает необходимого положения и минует его. Возникнет меньшее по величине рассогласование, изменяющее свой знак на противоположный. Описанный процесс повторяется в точке t_2 . Угловые перемещения звена (кривая 1) будут продолжаться до тех пор, пока величина рассогласования не станет равной нулю. Однако такие переколебания крайне нежелательны. Их устраняют выбором параметров корректирующих устройств и организацией обратной связи по скорости (кривая 2).

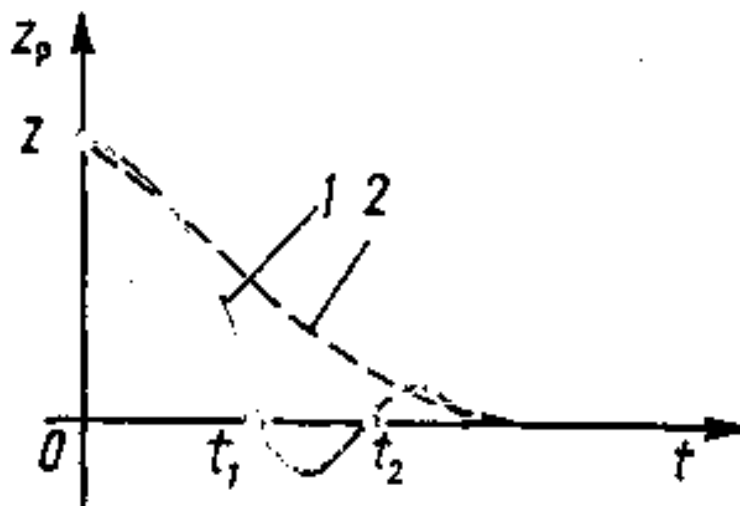


Рис. 4.11

4.3 Гидравлические и пневматические приводы

Гидравлические исполнительные приводы отличаются конструкцией исполнительного двигателя, устройствами регулирования направления и скорости его перемещения. Они нашли широкое применение в роботах, грузоподъемность которых превышает 20—80 кг. Такой привод обладает хорошими динамическими свойствами, большим ресурсом работы, малой массой, надежностью. Его преимущества — высокое развиваемое усилие, плавность перемещения манипулятора, жесткость, обусловленная практически несжимаемостью масла, используемого в качестве рабочей жидкости. К недостаткам относят высокую стоимость, связанную со сложностью изготовления и эксплуатации элементов, возможность утечек масла, наличие разветвленной системы трубопроводов.

Наибольшее применение нашли *электрогидравлические следящие приводы с линейными гидроцилиндрами* (рис. 4.12). При перемещении штока 3 гидроцилиндра 2 удается (за счет использования законов равновесия и движения жидкостей) реализовывать движение звена механической руки 4 относительно основания 1. Исполнительный гидроцилиндр (рис. 4.13) имеет поршень 5, который перемещается в цилиндре 1. Два штока 4, прикрепленные к обоим концам поршня 5, служат для передачи силы и перемещения поршня на выход. При подаче масла по трубопроводам 2 и 3 другими элементами гидропривода являются источник масла и регулирующий клапан (рис. 4.14). Источник масла состоит из насоса 2, нагнетающего рабочую жидкость под высоким давлением в трубопровод 1 при помощи двигателя 3 и маслосборника 4. Клапан 6 регулирует подачу масла в секции гидроцилиндра 7. Масло толкает шток поршня до тех пор, пока сигнал рассогласования (см. рис. 4.1) не станет равным нулю.

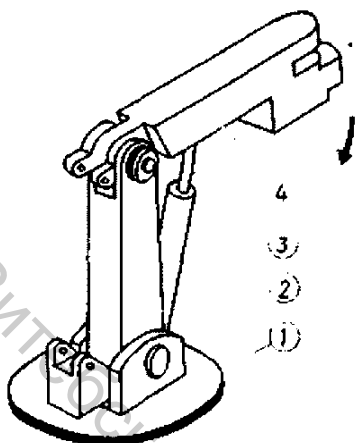


Рис. 4.12

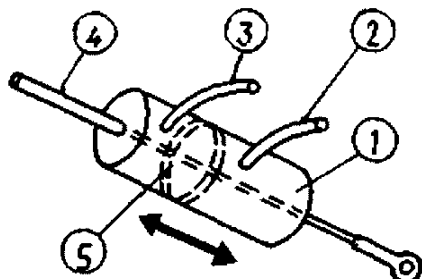


Рис. 4.13

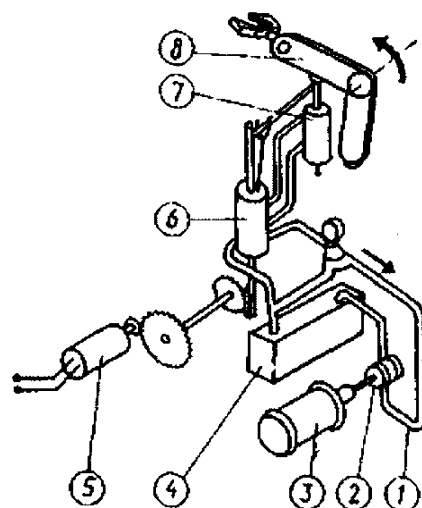


Рис. 4.14

Принцип работы *пневматического привода* во многом аналогичен работе гидравлического. В качестве рабочего тела служит сжатый до 0,4—0,6 МПа воздух (температура 0—60 °С). В робототехнике пневмопривод применяется, например, в конструкции робота МП-9С, который используют для автоматической транспортировки и штамповки деталей массой до 20 кг.

4.4 Выбор и определение типа привода

Выбор типа привода зависит от функционального назначения ПР. Основными факторами, определяющими выбор типа привода, являются назначение и условия эксплуатации ПР, грузоподъемность и требуемые динамические характеристики конструкции, вид системы управления. Независимо от вида привода к нему предъявляются следующие общие требования: минимальные габаритные размеры и высокие энергетические показатели, обеспечивающие большую величину отношения выходной мощности к массе; возможность работы в режиме автоматического управления и регулирования с обеспечением оптимальных законов разгона и торможения при минимальном времени переходных процессов; быстродействие — осуществление движений исполнительных механизмов с высокими скоростями и малой погрешностью позиционирования; малая масса элементов привода при высоком КПД всей конструкции; обеспечение безопасности (путем минимизации времени торможения, легкости отключения привода и снятия прикладываемого усилия, блокирования привода и сохранения положения исполнительных механизмов при команде «Стоп»); возможность встраивания систем охлаждения и терморегулирования для обеспечения приемлемых тепловых режимов работы привода и стабильности его характеристик; надежность элементов конструкции; удобство монтажа, обслуживания, ремонта и переналадки; низкий шум.

Промышленные роботы оснащают электрическими, пневматическими и гидравлическими приводами.

Элементы электроавтоматики и электропривода промышленных роботов. Устройства электроавтоматики ПР обеспечивают логическое преобразова-

ние выходных сигналов устройства управления, а также сигналов датчиков ПР и связанного с ним оборудования и устройств; силовое преобразование выходных сигналов устройства управления до уровня, необходимого для срабатывания соответствующих силовых элементов (магниты, пускатели и т. п.). Логическая и силовая части электроавтоматики располагаются, как правило, в электрическом шкафу, где размещается и блок питания. В состав электроавтоматики входят датчики различных типов (путевые выключатели, реле давления и т. п.), обеспечивающие контроль отдельных параметров работы ПР. Обычно эти датчики используют для ограничения перемещений отдельных звеньев механической системы, для фиксации исходного (нулевого) положения звеньев по всем координатам, а также в качестве датчиков положения при цикловом управлении отдельными степенями подвижности (зажим-разжим, кантование захватного устройства и т. п.). Выбор типов датчиков определяется условиями их работы. Бесконтактные путевые выключатели применяют там, где частота включений достаточно высока. Контактные конечные выключатели применяют в качестве аварийных для ограничения перемещений или контрольных для проверки исполнения цикловых команд по отдельным степеням подвижности. От коротких замыканий и перегрева электроаппаратуру и коммуникации защищают автоматическими выключателями, реле и предохранителями.

В состав электропривода входят усилители мощности, управляемые двигатели, передаточные механизмы, датчики обратной связи по скорости и по положению, сравнивающее устройство.

Широкое распространение получил дискретный (шаговый) привод, имеющий две разновидности: привод с управляющим шаговым двигателем (ШД) и промежуточным усилителем момента, выполненным в виде следящей гидравлической системы; привод с силовым ШД, соединенным непосредственно с исполнительным механизмом через механическую передачу (например, модели ЕС-5, ЕС-10, ЕС-20, разработанные в НРБ). Расширяется применение следящих приводов на базе электродвигателей постоянного тока, позволяющих обеспечить простую и надежную схему управления. Разработаны электродвигатели с плоским и гладким роторами, позволяющими повышать быстродействие и обладающими малым моментом инерции.

Весьма перспективным является применение малоинерционных высокомоментных электродвигателей, в которых вместо обмотки возбуждения используются постоянные магниты из магнитных материалов с высокой коэрцитивной силой, что позволяет значительно повысить показатели удельной мощности и получить высокую кратность тока и момента по отношению к номинальным.

Легкость регулирования, бесшумность, отсутствие трубопроводов, легкость энергоподводов, простота монтажа и наладки, достаточно высокие показатели надежности — положительные стороны для применения электропривода в конструкциях ПР. Сдерживающим фактором являются низкие показатели удельной мощности: для применения в конструкциях ПР и установки непосредственно на исполнительных звеньях электродвигатели должны иметь удельную мощность 150 Вт/кг. Этим показателям в наибольшей мере отвечают современ-

ные электродвигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов.

Асинхронные двигатели в приводах ПР не получили пока широкого распространения из-за сложности и высокой стоимости электронных преобразователей, обеспечивающих регулирование частоты вращения.

4.5 Гидропривод и аппаратура

Высокая энергоемкость, быстродействие, малая инерционность, относительно высокая жесткость статических нагрузочных характеристик (за счет малой сжимаемости рабочих жидкостей), возможность реализации автоматического управления и регулирования скорости исполнительных механизмов, простота конструкции, надежность и низкая стоимость обеспечивают широкое применение гидропривода в конструкциях ПР в большом диапазоне грузоподъемности (свыше 10 кг). К недостаткам гидропривода относятся возможность утечек и необходимость введения устройств для охлаждения рабочей жидкости.

В гидроприводах цикловых ПР применяют следующие основные типы исполнительных гидродвигателей, которые могут сочетаться с различными конструкциями механических передач: линейные гидроцилиндры с поступательным движением штока, поворотные гидродвигатели с ограниченным углом поворота выходного вала, гидромоторы.

В гидроцилиндрах ЦРГ и поворотных гидродвигателях ДПГ предусмотрена возможность регулирования режимов торможения в конце рабочего хода. Рабочая жидкость — минеральные масла вязкостью 12—250 мм²/с со степенью очистки не грубее 14-го класса по ГОСТ 17216—71. Температура масел 0—60°.

Скорость перемещений исполнительных гидродвигателей регулируется дросселями. Для запираания полостей при выключении гидравлики применяют гидрозамки клапанного типа или блокирующие распределители с электро- или гидроуправлением.

В ПР с числовыми СПУ (позиционными и контурными) нашли применение два типа комплектных гидроприводов: электрогидравлические следящие приводы с линейными гидроцилиндрами (типа ПЭГС) и гидродвигателями (поворотные приводы типа СП), работающие по замкнутой схеме; электрогидравлические шаговые приводы вращения и линейные электрогидравлические шаговые приводы Г28-2. Электрогидравлические следящие приводы ПЭГС и СП комплектуют электрогидравлическими усилителями УЭГ-8 или УЭГ-85 и встроенными датчиками обратной связи по положению. Рабочая жидкость — минеральные масла вязкостью не более 40 мм²/с при температуре 10—60 °С.

Шаговые электрогидравлические приводы работают по разомкнутой схеме, из-за чего возникает опасность потери информации о положении выходного звена. Поэтому при их применении необходимо оснащать звенья ПР дополнительными датчиками положения. Линейные электрогидравлические приводы Г28-2 могут комплектоваться датчиками положения штока цилиндра. Электрогидравлические шаговые приводы вращения Э32 Г18-2 применяют для осуществления значительных (свыше 2—3 м) перемещений вспомогательных органов

ПР в сочетании с винтовыми или реечными механическими передачами.

В гидроприводах ПР применяется широкая номенклатура распределительной и контрольно-регулирующей аппаратуры. Наибольшее распространение получила малогабаритная аппаратура с условным проходом до 6 мм. Питание гидросистем ПР — от насосных установок с непрерывным или ступенчатым изменением подачи рабочей жидкости. Широкое применение находят пневмогидравлические аккумуляторы с эластичным разделителем полостей и поршневые. В роботах с цикловым управлением тонкость фильтрации рабочей жидкости обычно 25 мкм, при применении комплектных электрогидравлических приводов — 10 мкм. Информация по применяемому в ПР гидрооборудованию имеется в специализированных каталогах этих изделий.

4.6 Пневматический привод

Пневматический привод получил широкое применение в конструкциях упрощенных ПР грузоподъемностью до 20 кг. Это обусловлено следующими свойствами: быстродействием, связанным с высокой скоростью срабатывания пневматических исполнительных механизмов; относительной простотой конструкции линейных пневмоцилиндров и поворотных пневмодвигателей, способных реализовать требуемые движения без использования сложных механических передач; сравнительной легкостью реализации принципов агрегатно-модульного построения конструкций ДР в широком диапазоне компоновок механических систем; надежностью работы в широком диапазоне температур. Преимуществами их являются также простота в эксплуатации, пожаро- и взрывобезопасность, возможность применения простых устройств для защиты от перегрузок, виброустойчивость, меньшая стоимость по сравнению с другими видами приводов, а также возможность комплектации струйными системами управления, использующими тот же вид энергоносителя. К недостаткам пневмопривода следует отнести низкую удельную мощность, что обусловлено малым рабочим давлением, (не более 0,6 МПа), а также низкую жесткость, связанную со сжимаемостью воздуха. Низкая жесткость привода в сочетании с системой управления разомкнутого типа создает трудности при наладке и программировании. Из-за малой жесткости привода также трудно обеспечить чисто пневматическими средствами мягкую безударную остановку движущихся масс при подходе пневмоцилиндра к неподвижному упору, что вызывает необходимость применения гидроамортизаторов.

В состав пневмопривода входят пневматические исполнительные механизмы (пневмоцилиндры одностороннего и двустороннего действия, неполноповоротные пневмодвигатели разных типов, пневмомоторы, мембранные камеры и т.п.); распределительная пневмоаппаратура — главные и вспомогательные распределители (двух- и реже трехпозиционные, различные пневмоклапаны и т.п.); контрольно-регулирующая пневмоаппаратура (пневмодрессели, пневмоклапаны редуционные, индикаторы давления, реле давления и др.); аппаратура для подготовки воздуха с фильтрами с целью отделения пыли, влаги с масло-распылителями и другими элементами.

Лекция 5 Системы управления промышленными роботами

План:

1. Классификация систем управления
2. Виды систем управления
3. Система обеспечения техники безопасности

5.1 Классификация систем управления

В зависимости от используемого критерия системы управления (СУ) могут быть классифицированы по различным признакам (рис. 5.1).

По способу позиционирования рабочих органов ПР системы управления подразделяют на позиционные, контурные и комбинированные (универсальные). У позиционных СУ задаются начальное и конечное положения рабочих органов ПР. Различают малоточечные и многоточечные позиционные СУ. У первых число точек позиционирования не более восьми — десяти. У многоточечных СУ число программируемых позиций — до нескольких сотен и ограничено объемом памяти и допустимой погрешностью позиционирования. При контурном управлении положение рабочего органа ПР определено в каждый момент времени. Комбинированные СУ обеспечивают как позиционное, так и контурное управление ПР.

По способу представления информации СУ разделяют на электромеханические (путевые с упорами, временные, кулачковые, копировальные и т. п.), цикловые, числовые, аналоговые и гибридные. В электромеханических СУ геометрическая информация представлена в виде физического аналога (положение упоров, настройка реле времени и т. п.). Информация о времени и последовательности выполнения шагов программы (цикл работы) может задаваться непрерывно настраиваемыми схемами релейной автоматики. Эти СУ являются наиболее простыми и обеспечивают наименьшие функциональные возможности ПР. В системах циклового программного управления (ЦПУ) команды цикла задаются в виде чисел, а геометрическая информация — упорами и подключением соответствующих выключателей. Перестройка цикла при использовании внутренних коммутаторов сводится к установке штекеров (переключателей, кнопок и т. п.) **в определенные гнезда (положения), а при использовании перфоленты** — к ее установке в считывающее устройство. Системы ЦПУ широко применяют для управления ПР с небольшим числом точек позиционирования. Аналоговые СУ по выполняемым функциям, простоте, стоимости и области применения мало отличаются от цикловых. Информация в этих системах задается и хранится в виде потенциалов. В качестве элементной базы в аналоговых СУ используются решающие и операционные усилители постоянного тока. В системах ЧПУ вся информация представляется в числовом виде и хранится на быстромносном носителе (магнитные или перфорированные ленты, барабаны, диски и т. п.). При работе с датчиками обратной связи аналогового типа (потенциометры, силовые датчики и т. п.) системы ЧПУ оснащаются аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) на устройствах входа сигналов.

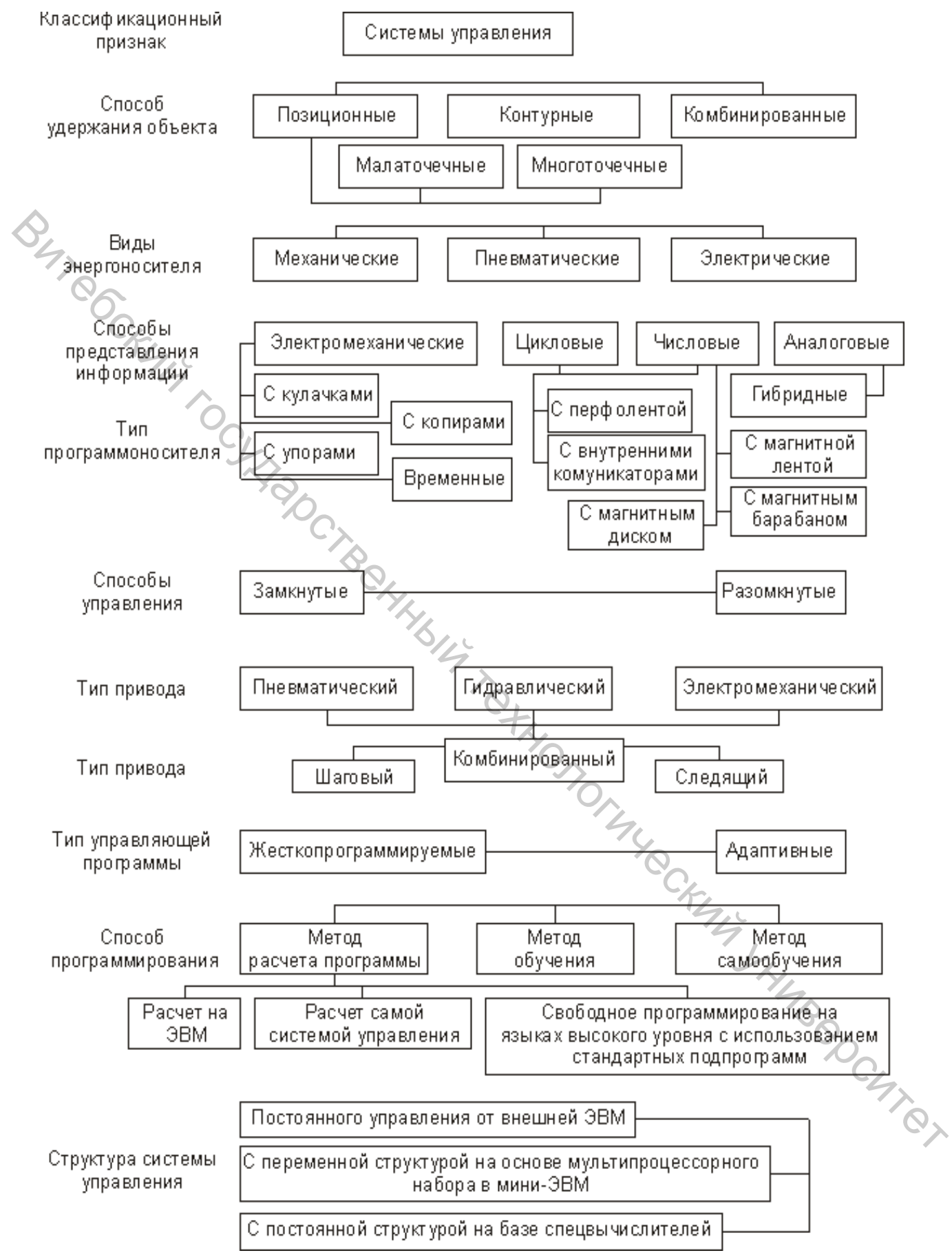


Рис. 5.1 – Классификация систем управления

Эти системы обеспечивают наибольшие функциональные возможности ПР, позволяя контролировать выполнение манипуляционных действий и параметров внешней среды и развитую индикацию параметров на устройствах отображения информации. Они могут стыковаться с внешней ЭВМ.

В гибридных СУ могут использоваться различные способы представления информации.

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

Этих недостатков лишены ПР с замкнутой СУ следящим приводом, где управление осуществляется с учетом текущих параметров состояния ПР путем их сравнения с требуемыми величинами.

По объему информации в управляющей программе СУ разделяются на жесткопрограммируемые и адаптивные. В жесткопрограммируемых СУ управляющая программа содержит определенный объем информации, не меняющийся в процессе работы ПР. Корректирование программы при изменении параметров внешней среды не обеспечивается.

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

5.2 Виды систем управления

Управление ПР может осуществляться от автономных, комплексных и многоуровневых систем (см рис.5.1).

Автономные СУ предназначены только для управления ПР. Для этой цели применяют системы, специально предназначенные для комплектации ПР, и иногда устройства, предназначенные для управления станками. В общем случае специализированные СУ для ПР имеют следующие отличия от станочных систем ЧПУ: программирование методом обучения; значительное число входов-выходов для связи с основным и вспомогательным оборудованием, в том числе и информационных входов; дополнительные модули измерения показателей состояния механизмов ПР и параметров внешней среды; модули диагностики

для реализации функций диспетчирования и контроля работы оборудования и устройств, состыкованных с ПР; специальное математическое обеспечение, обусловленное особенностями ПР как объекта управления, повышенными скоростями и значительными перемещениями рабочих органов, величинами дискрет, наличием специализированных циклов (загрузки-разгрузки оборудования, опознавания и измерения внешних объектов, адаптивного управления, контроля положения рабочих органов, отбраковки деталей и т. п.).

Специализированные автономные СУ разрабатываются для единичного и группового управления ПР.

Комплексные СУ предназначены для управления комплексами оборудования — робот. Для этой цели в настоящее время часто используются серийно выпускаемые станочные системы ЧПУ. Однако при этом усложняется программирование ПР (существующие станочные системы не обеспечивают программирования методом обучения). Разработка и применение комплексных СУ являются перспективными при условии обеспечения программирования основного технологического оборудования и ПР методом обучения по первой детали.

Многоуровневые иерархические системы числового управления роботами применяют при обслуживании ими станков, входящих в состав автоматизированного участка. Числовое управление участком в этом случае можно разбить на три уровня, где на верхнем с помощью ЭВМ производятся расчет, хранение, выбор и передача на низший уровень управляющих программ для станков и роботов. На среднем уровне осуществляются редакция (отладка по результатам обработки) этих программ и их хранение на время обработки на станках. На низшем уровне происходит отработка программ оборудованием в составе участка. Так же как и у станков, система управления роботами на участке должна выполнять подготовку и формирование программ (средний уровень); хранение, выбор и передачу программ, задание данных по форме, размерам и характеру хранения деталей в таре и диспетчирование работы роботов на участке (верхний уровень); отработку программ (низший уровень).

Подготовка программ для роботов при централизованном управлении происходит так же, как и в автономных системах, однако запоминание их целесообразно производить на ЭВМ среднего уровня. Отработка программы выполняется устройством низшего уровня, представляющим собой позиционер, осуществляющий покадровую отработку. Таким образом, в многоуровневых Системах устройства управления низшего уровня существенно упрощены по сравнению с автономными СУ.

Применение многоуровневых иерархических систем не всегда экономически целесообразно. В настоящее время наибольшее применение для управления ПР нашли автономные унифицированные СУ специального назначения.

5.3 Система обеспечения техники безопасности

Совокупность и взаимодействие отдельных элементов подсистем восприятия внешней среды и контроля собственного состояния ПР в сочетании со

специальными информационными устройствами и механизмами защиты обслуживающего персонала образуют систему обеспечения техники безопасности при наладке, обучении и эксплуатации ПР, которая входит в комплект устройств обеспечения безопасной и безаварийной работы всех видов оборудования, составляющих роботизированный комплекс.

Часть информационной системы ПР, относящаяся к обеспечению техники безопасности, должна формировать командный сигнал на останов движений ПР в опасной для здоровья человека точке рабочей зоны или при возникновении аварийной ситуации. Целесообразно, чтобы этот командный сигнал снимался самим человеком, осуществляющим наладку и обслуживание роботизированного комплекса. Для формирования такого командного сигнала система обеспечения техники безопасности должна осуществлять регистрацию пространственного положения самого ПР, отдельных его частей, а также местонахождения обслуживающего персонала в рабочей зоне ПР.

В качестве датчиков могут быть использованы как контактные, силовые, ультразвуковые, индукционные и другие датчики и их сочетания, так и визуальные системы. Однако исходя из требований низкой стоимости системы при высокой эксплуатационной надежности целесообразно: для определения пространственного положения ПР и отдельных его звеньев использовать датчики положений отдельных степеней подвижности (для ПР со следящим приводом), контактные либо бесконтактные выключатели (для разомкнутых ПР); для определения местоположения человека в рабочей зоне ПР использовать светолокационные датчики различных конструкций, например датчики, работающие на просвет, а также контактные предельные выключатели, устанавливаемые на гравитационных трапах (подпружиненных площадках), расположенных в отдельных местах рабочей зоны, на подпружиненных буферах, устанавливаемых на отдельных узлах ПР, на створках ограждений, предохранительных решетках и т. п.

Дополнительные сведения по комплектующим изделиям и их основным параметрам — см. ГОСТ 26062—84; ГОСТ 26063—84; ГОСТ 26064—84; ГОСТ 26065—84; ГОСТ 21021—85; ГОСТ 24836—81; ГОСТ 24505—80; ГОСТ 26059—85; ГОСТ 26060—85; ГОСТ 26061—85.

Лекция 6 Манипуляторы роботов

План:

1. Кинематика манипуляторов.
2. Распределение степеней подвижности по кинематической цепи.
3. Уравновешивание подвижных масс манипулятора.

6.1 Кинематика манипуляторов

Для выполнения транспортно-технологических операций человеку необходимо визуально или при помощи ощупывания определить положение пред-

мета, мысленно выработать желаемую траекторию движения, а затем направить к нему свою руку. В процессе движения положение руки относительно предмета контролируется зрением и мозгом, дополнительно корректируется мышцами руки. В проведении операции участвует большинство наших органов: мозг, глаза, мышцы, части скелета. Устройства, технически реализующие функции этих органов, мы можем найти и у современных роботов (рис. 6.1). Информационные измерительные датчики 3 робота связаны с управляющим устройством 7, выходные сигналы которого воздействуют на двигатели исполнительного привода 2, перемещающие манипулятор к предмету 1. Для связи робота с оператором в составе всего комплекса имеется видеоконтрольное устройство (дисплей) 4, устройство ввода (вывода) алфавитно-цифровой информации (терминал) 5, задающий орган — рукоятка 6.

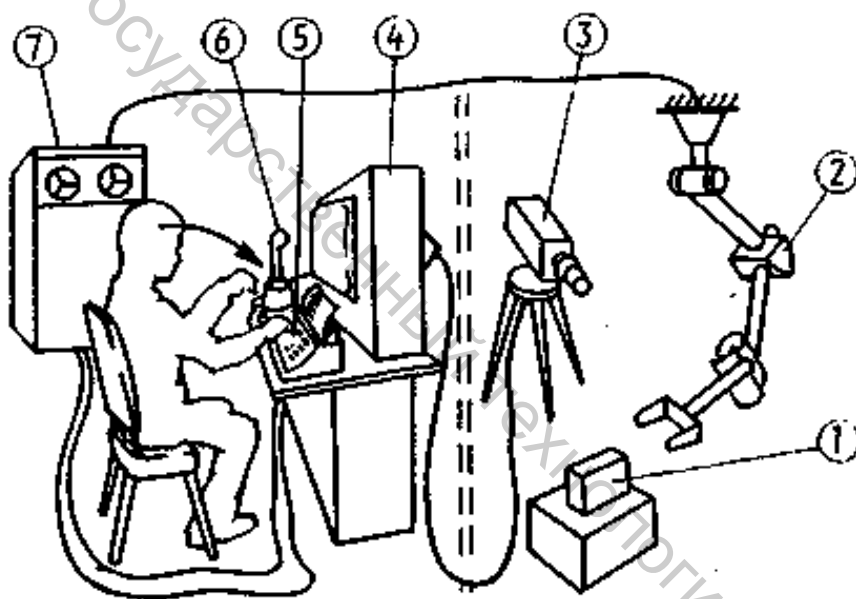


Рис.6.1

Рассмотрим основные элементы роботов. Первыми объектами изучения станут манипуляторы (от лат. manus — пригоршня, горсть и pulus — рука). Это устройство выполняет работу, требующую высокой точности при перемещении объектов манипулирования. Последними могут быть любые тела.

Первые-манипуляторы стали использоваться в промышленности для механизации тяжелых процессов уже в конце XIX в.: ковка металла, подъем деревьев во время лесосплава и др. Новый мощный толчок применению манипуляторов в широких масштабах дало развитие ядерной энергетики.

Что такое современные манипуляторы роботов? Это дистанционно управляемые устройства, представляющие собой разомкнутую кинематическую цепь, оснащенную рабочим органом и в общем случае приводами для выполнения двигательных функций, заменяющих аналогичные действия руки человека при перемещении объектов (рис. 6.2). Манипулятор — механическая многозвенная конструкция, каждое звено которой — твердое тело. У большинства манипуляторов все звенья последовательно связаны друг с другом. Дви-

жение звеньев в сочленениях осуществляется при помощи специальных исполнительных приводов, являющихся аналогами мышц руки человека. Начальное звено манипулятора связано с основанием, к последнему крепится рабочий орган: инструмент или схват.

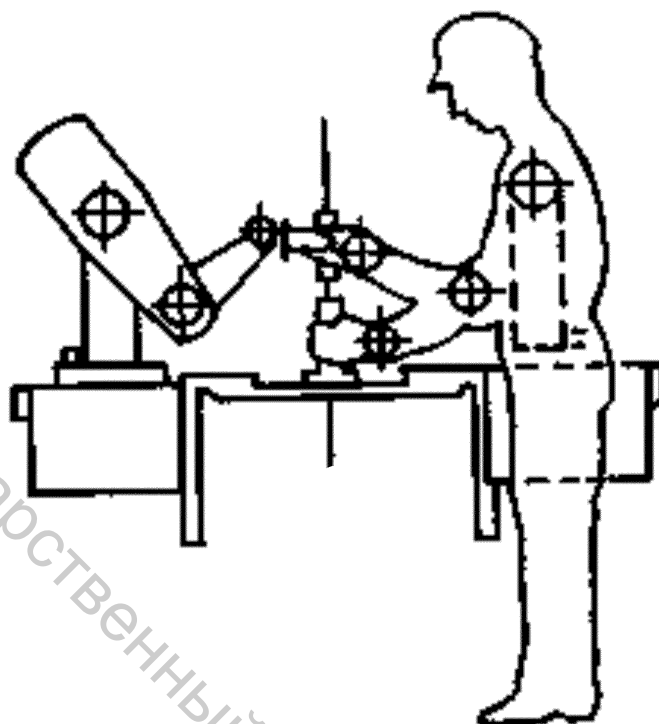


Рис. 6.2

Манипуляторы могут располагаться на жестко монтируемом основании стационарно (рис. 6.3) или на устройствах, обеспечивающих их передвижение (рис. 6.4, 6.5). Например, манипуляторы порталных роботов установлены на специальном монорельсе, который находится выше уровня технологического оборудования цеха, обеспечивая таким образом свободу перемещения роботов.

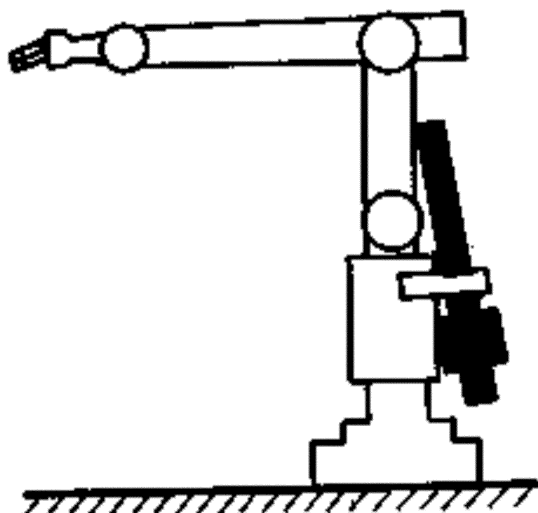


Рис. 6.3

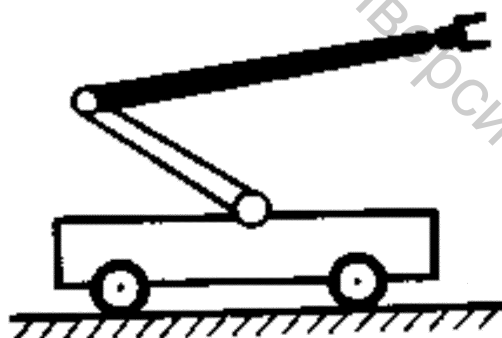


Рис. 6.4

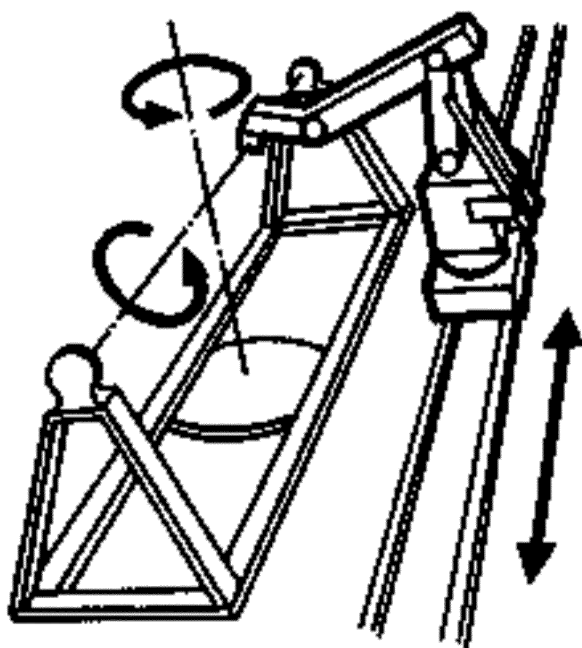


Рис. 6.5

Рука человека обладает большой подвижностью и может совершать более 25 различных независимых движений, таких как захват предмета, изгиб плеча, вращение кисти. Это достигается использованием значительного числа подвижно соединенных костных звеньев, большинство из которых приходится на кисть (рис. 6.6). Двигательные возможности, а поэтому и эффективность современных манипуляторов гораздо ниже, чем руки человека. В табл. 6.1 приведены результаты хронометрирования времени выполнения некоторых производственных операций манипулятором и рукой человека. Механическая рука управлялась оператором (рис. 6.7) при помощи специального задающего органа (рукоятки), сигналы от которого поступали на исполнительные приводы манипулятора. Анализ таблицы позволяет сделать вывод, что время проведения операций манипулятором в несколько раз больше, чем при выполнении этих же операций вручную.

Таблица 6.1

Операции	Время выполнения, с	
	рука человека	манипулятор
Подъем груза массой 1 кг на заданную высоту	0,3	3,5-7,5
Перемещение объекта массой 1 кг на заданную позицию	0,6	1,3-2,3
Завинчивание гайки	2,2	3,5-5,0
Установка вилки в розетку	2,7	3,0-5,5
Простая сборка деталей с точным сопряжением поверхностей	6,1	12-13,7

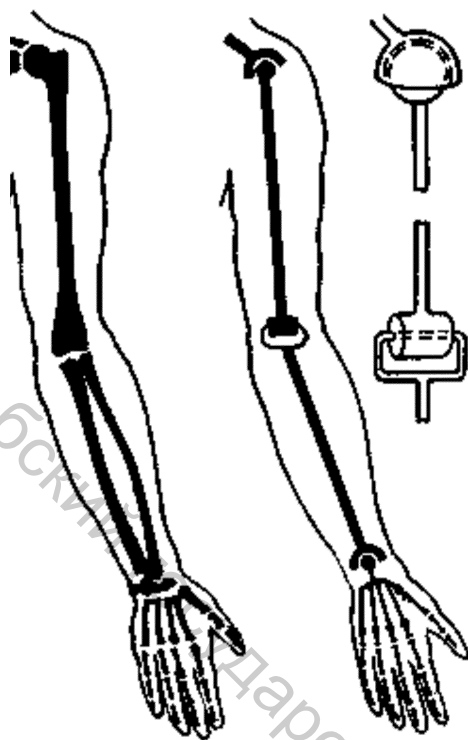


Рис. 6.6

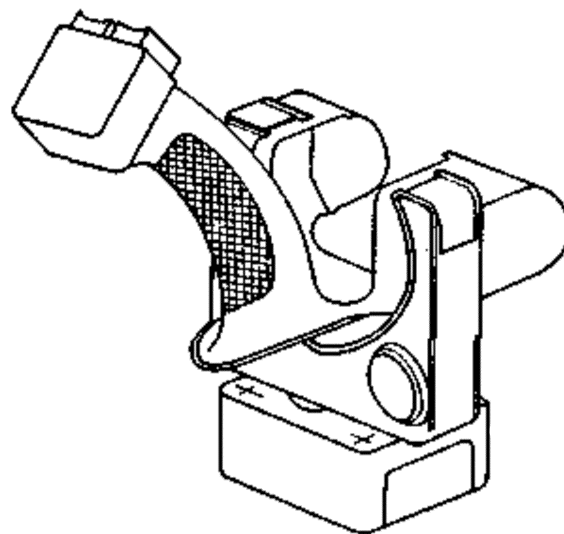


Рис. 6.7

На современном этапе развития техники вряд ли возможно создание механической руки, по своим характеристикам близкой к руке человека. При выполнении большинства технологических операций и производственных процессов необходимость в привлечении двух десятков степеней подвижности манипулятора встречается крайне редко. Шести движений оказывается достаточно для осуществления переноса предмета в произвольную точку пространства и ориентации его определенным образом относительно трех осей декартовой системы координат x, y, z (рис. 6.8). Для проведения непосредственного захвата предмета требуется еще одна степень подвижности.

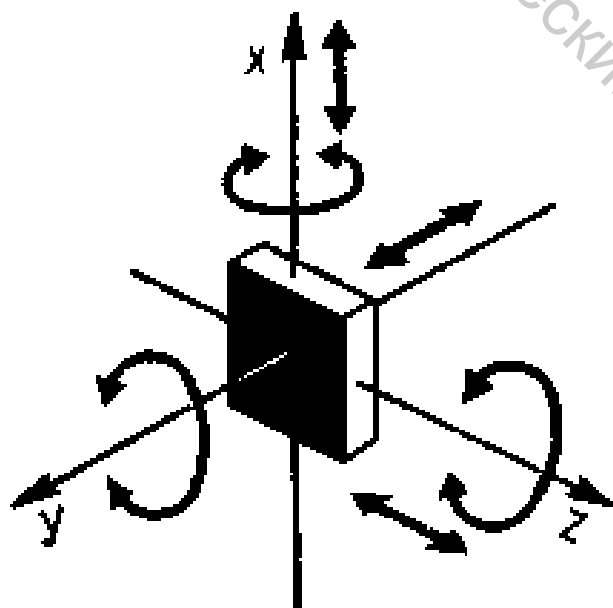


Рис. 6.8

Таким образом, универсальным является манипулятор, рабочий орган которого имитирует не менее семи рабочих движений: трех угловых, трех линейных и одного, направленного на удержание предмета.

Каждая модель робота характеризуется рядом технических показателей. Наиболее важными являются грузоподъемность, рабочая зона, погрешность позиционирования, число степеней подвижности. Грузоподъемность определяется наибольшей массой объекта манипулирования, перемещаемого манипулятором в пределах рабочей зоны. Под рабочей зоной понимается часть пространства, в которой может находиться схват. Точность вывода последнего к объекту манипулирования определяет погрешность позиционирования (отклонение исполнительного органа от желаемого положения). Число степеней подвижности указывает на возможности робота по перемещению объекта манипулирования относительно основания и равно сумме координатных движений.

Двигательные возможности манипулятора зависят от его способности перемещаться в пространстве, т. е. от кинематики (от греч. *kinematos* — движение). При этом изменение положения звеньев рассматривается только с геометрической точки зрения, а описание работы манипулятора производится независимо от физических причин, знака и величины сил, вызывающих движение.

Кинематическая схема каждого манипулятора характеризуется типом и количеством степеней подвижности, геометрическими размерами, способом соединения звеньев, диапазоном изменения углов в шарнирах или поступательных перемещений в телескопических парах. Выбор этих характеристик зависит от хода и параметров технологического процесса, в котором предполагается использовать данный манипулятор. Например, роботы, предназначенные для нанесения покрытий на поверхность изделия, должны обладать достаточной маневренностью, особенно при обработке сложных конфигураций. Конструктивное выполнение манипулятора позволяет обеспечить фиксацию положения распылительной головки на заданном расстоянии и под требуемым углом к обрабатываемой поверхности. Удержание или позиционирование рабочего органа должно производиться в строго определенных точках, так как даже небольшие отклонения ухудшают качество покрытия.

Основными проблемами создания манипуляторов для выполнения точечной сварки являются трудность доступа к некоторым элементам свариваемых конструкций, необходимость перемещения тяжелых сварочных клещей и сложность подведения к ним питающего напряжения. Манипуляторы таких роботов имеют более четырех степеней подвижности. Часто их кинематическая схема имеет вид 2 (см. табл. 6.2). Таким же требованиям должны удовлетворять манипуляторы, применяемые для контурной сварки. Дополнительное условие при этом — необходимость точной ориентации рабочего инструмента в процессе ведения сварочного шва.

Основные рабочие движения сборочных манипуляторов — вертикальные и возвратно-поступательные (виды 1, 3, 4 табл. 6.2). Сложные же движения могут осуществлять манипуляторы, обладающие высокой маневренностью и подвижностью (вид 5 табл. 6.2).

Наиболее распространены манипуляторы промышленных роботов, имеющие четыре или пять степеней подвижности (54 %), рис. 20, менее — две или три степени (27 %). Сложные универсальные манипуляторы с шестью и выше степенями подвижности составляют всего 17 %. Конструкции других типов встречаются крайне редко (2 %). Лучшим для конкретных условий считается манипулятор, обеспечивающий выполнение данной операции при наименьшем числе движений.

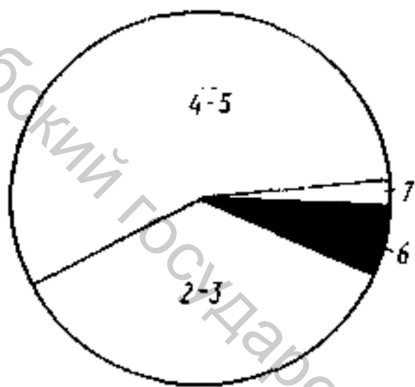


Рис. 6.9

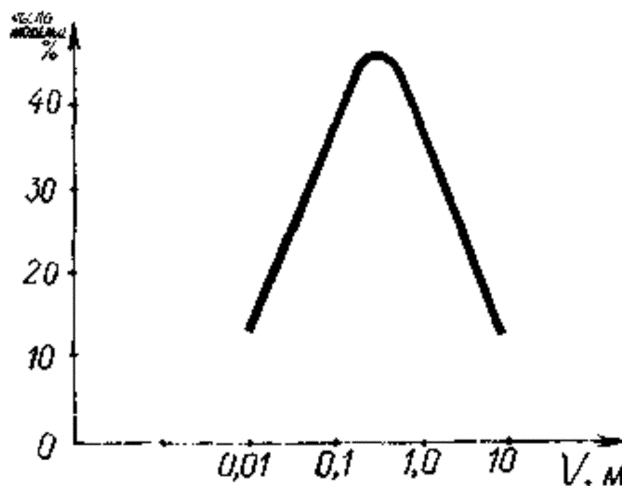


Рис. 6.10

Вид технологического процесса определяет требования и к объемам рабочей зоны механической руки. Для большинства современных роботов эта характеристика колеблется в интервале $1 — 10 \text{ м}^3$

Теоретически каждое из сочленений звена может иметь шесть степеней подвижности. Однако на практике их число обычно не превышает одной, что в первую очередь объясняется простотой реализации такой конструкции. Широко используются сочленения с двумя типами относительного перемещения звеньев: вращательного и поступательного. В первом случае движение осуществляется вокруг (изменяемым параметром является угол относительного вращения), во втором вдоль общей для двух звеньев оси (изменяемым параметром служит длина линейного перемещения). Манипуляторы, звенья которых образуют вращательные пары, называют *шарнирно рычажными*, поступательные — *телескопическими*.

6.2 Распределение степеней подвижности по кинематической цепи

Каждое звено манипулятора может передвигаться независимо от других, а общее количество степеней свободы механической руки равно числу степеней свободы движений в сочленениях. Распределение степеней подвижности по кинематическим звеньям влияет на ряд конструктивных характеристик и параметров: исполнение манипулятора, маневренность, угол обслуживания (сервис), сложность системы управления. По мере роста числа звеньев улучшаются кинематические возможности манипулятора и гибкость выполнения техноло-

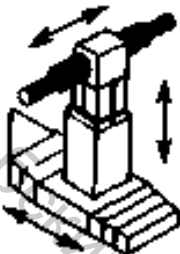
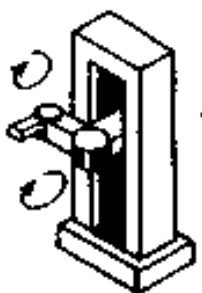
гических операций. Однако эти преимущества достигаются дорогой ценой: увеличивается масса, усложняется конструкция, растет число управляемых координат, появляется неоднозначность в выборе положений звеньев. Поэтому подавляющее большинство современных манипуляторов имеет *трехзвенные конструкции*. Если не учитывать движение в схвате и ограничиться перебором возможных структур кинематической цепи трехзвенных манипуляторов, то окажется, что их число может измеряться десятками тысяч. Почти все они обладают неудовлетворительными кинематическими характеристиками. Наиболее удачные представлены в табл. 6.2 (стрелки, изображенные рядом с манипуляторами роботов, показывают направление перемещения звеньев; в последнем столбце приведены сведения о доле таких манипуляторов в общем парке роботов).

Кроме трехзвенных манипуляторов, применяются *механические структуры типа «хобот»* с большим числом одинаковых звеньев. При угловом их перемещении относительно друг друга механизм изгибается и по форме начинает напоминать дугу с большой кривизной. Управление хоботом, достаточно простое, так как переменных для определения однозначного положения дуги может быть две или даже одна.

Определенный интерес представляет манипулятор, звенья которого выполнены на базе механизма, получившего название «пантограф». Общую теорию этих устройств разработал наш соотечественник П. Л. Чебышев. Механизм имеет две реечные передачи, преобразующие вращательное движение в линейное поступательное. Параллелограммный механизм ориентирует движение локтевого сустава манипулятора при перемещении плечевого. Независимость движений звеньев существенно упрощает процесс управления. Недостаток схемы — некоторое уменьшение объема рабочего пространства по сравнению с манипуляторами, имеющими обычные вращательные пары в местах соединения звеньев.

Основным элементом *бесшарнирных манипуляторов* служит трубка Бурдона (рис. 6.12). Устройства перемещения звена, которые выполнены на базе этих трубок, представляют собой упругий элемент, имеющий участок переменной кривизны с плоской трубкой 2. При подаче сжатого воздуха в трубку 2 криволинейный участок 1 изгибается и незакрепленный конец 5 перемещается в одной плоскости. Для организации движения в разных координатах необходимо несколько трубок 4, 5 Бурдона, к каждой из которых подводится воздух от своего источника питания.

Таблица 6.2

Кинематическая схема	Степени подвижности		Форма рабочей зоны	От общего числа роботов, %
	Вращатель- ные	Поступа- тельные		
 1	Нет	Три		20
 2	Одна	Две		46
 3	Две	Одна		13
 4	Две	Одна		5
 5	Три	Нет		14

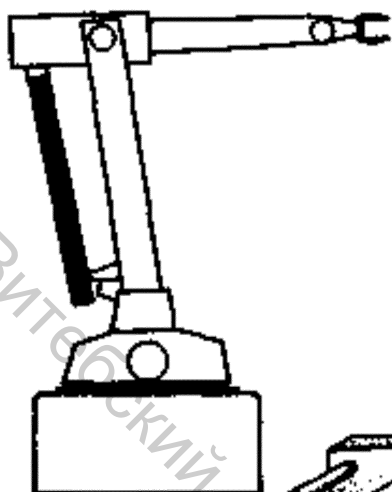


Рис. 6.11

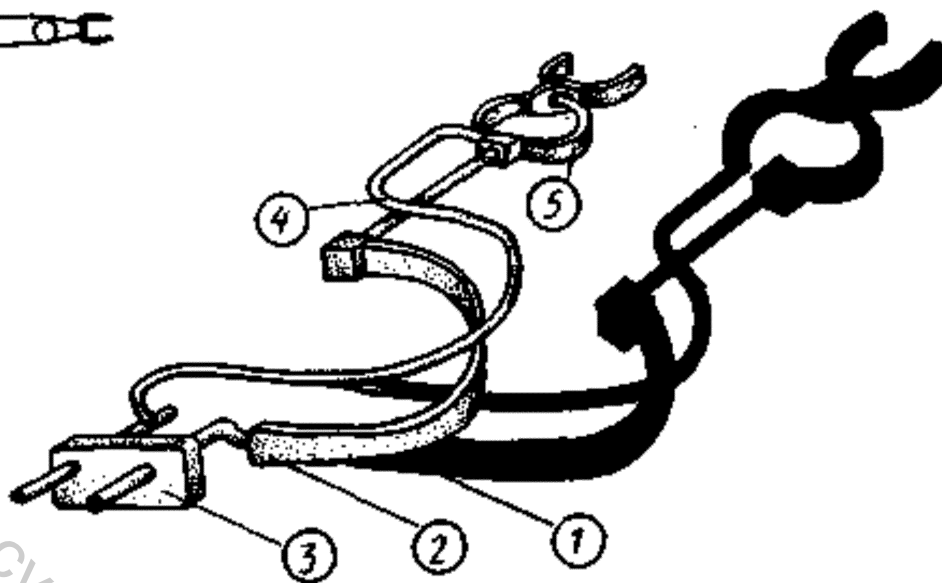


Рис. 6.12

Основание 3 манипулятора закреплено неподвижно. Преимуществами манипулятора являются: отсутствие трущихся элементов, малые металлоемкость и время перемещения звена (0,1 — 0,5 с), незначительная поверхность рабочих органов, высокая надежность, возможность реализации модульной конструкции; недостатками — недолговечность, низкие точность позиционирования и жесткость всей конструкции. Последний недостаток частично уменьшают звенья, выполненные из замкнутых трубок Бурдона. Основные области применения — микроэлектроника и взрывоопасные помещения. В первом случае рабочая среда не загрязняется частичками пыли, возникающими при трении подвижных сочленений в обычных манипуляторах, во втором — устраняется опасность возникновения пожара в результате случайного появления искр.

Распределение степеней подвижности по кинематической цепи универсального манипулятора осуществляется с учетом ряда требований. Рассмотрим их на примере *трехзвенного углового манипулятора* (рис. 6.13). Подвижный конец схвата робота должен занимать любое положение на сфере, центром которой является точка крепления манипулятора к основанию. Для этого в нижнем сочленении звена необходимо иметь вращательные степени подвижности относительно двух направлений — вертикальных оси (угол Z) и плоскости (угол Z_2). В сочленении плечевого и локтевого звеньев для повышения гибкости при проведении технологических операций желательно иметь возможность произвольно перемещать конец второго звена по сферической поверхности. Для этого конструкция сочленения должна обеспечить качение в плоскости, проходящей через оси первых двух звеньев (угол Z_3). Для того чтобы можно было эффективно выполнять функции захвата предмета схватом, следует менять его ориентацию при фиксированных положениях плечевого и локтевого звеньев. В связи с этим на конце локтевого звена должно быть еще три степени подвижности. Кистевое звено манипулятора вращается вокруг продольной

(угол Z_4) и поперечной (угол Z_5) осей локтевого. Третья степень подвижности схвата реализуется за счет вращения в дополнительно введенном сочленении (угол Z_6). Для определения наиболее целесообразных соотношений между линейными размерами звеньев кинематической цепи манипулятора длину плечевого звена примем равной l , локтевого — l_2 и кистевого — l_3 . Последнее должно быть максимально коротким, соизмеримым с размерами объекта манипулирования. При выборе соотношения между длинами других звеньев следует помнить, что рабочая зона манипулятора должна быть большей, а так как кистевое звено мало, его размерами можно в первом приближении пренебречь и считать, что величина всей рабочей зоны манипулятора определяется только размерами плечевого и локтевого звеньев.

Анализ антропометрического строения руки человека показывает, что условие примерного равенства длин плечевого и локтевого звеньев ($l \approx h$) является наиболее рациональным. Его выполнение обеспечивает максимальную величину рабочей зоны и свободу изменения (маневренность) пространственной конфигурации кинематической цепи манипулятора при неизменном положении кистевого сустава.

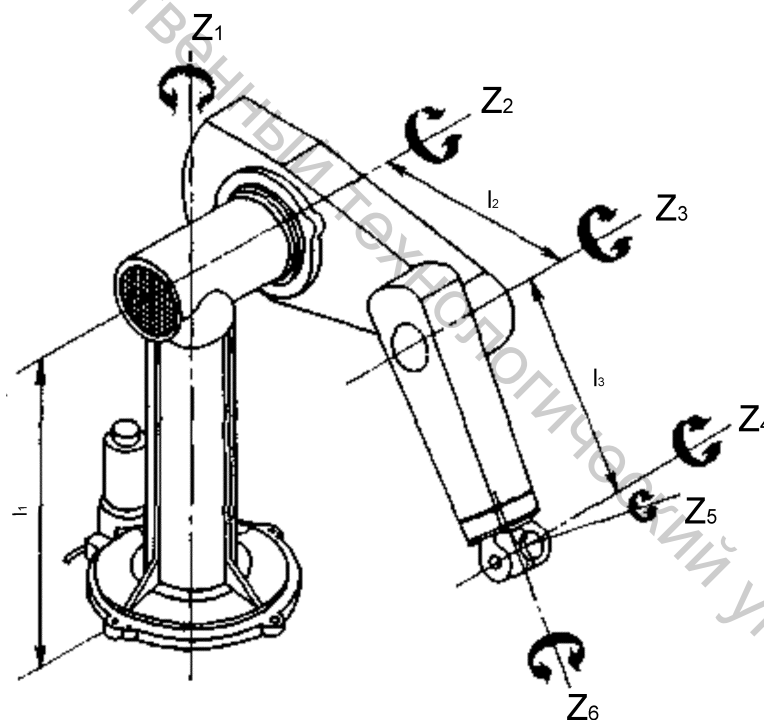


Рис. 6.13

В других кинематических схемах два нижних звена трехзвенного манипулятора — плечевое и локтевое — также реализуют глобальные движения перемещения схвата в пространстве. Для этих целей используют, как наиболее компактные и удобные, вращение и качение в плече либо вращение и поступательное движение в локте. С точки зрения простоты управления кинематическая схема с телескопической парой лучше приспособлена для перемещения схвата в пространстве, так как поступательное движение осуществляется за

счет относительного движения одного из звеньев. Если кинематическая схема манипулятора включает только угловые перемещения, то для обеспечения равномерного движения схвата по траектории движения необходимо изменять относительные угловые положения всех звеньев. При заданных длинах звеньев для выработки сигналов управления приходится вычислять тригонометрические функции углов, выполнять операции умножения, деления, сложения, а если длины звеньев разные, то и извлечения корня. Погрешности вывода конечной точки к фиксированной позиции для различных кинематических схем манипуляторов неодинаковы. Они возрастают по мере увеличения сложности конструкции. С этой точки зрения наиболее простым является манипулятор, использующий только поступательные степени подвижности. Изменения гравитационных нагрузок в его сочленениях также самые малые, поэтому при эксплуатации трущиеся элементы (подшипники, шестерни, направляющие) вырабатываются в наименьшей степени. Опыт показывает, что при использовании только поступательных движений в сочленениях погрешности оказываются более чем в два раза меньшими, чем при вращательных. В местах непосредственного соединения звеньев манипулятора возникают механические связи скольжения и качения. В робототехнике чаще используют последние, при которых контакты между зазорами происходят по поверхностям меньшей площади. Следствием этого являются меньшие потери на трение, более высокий коэффициент полезного действия и точность работы манипулятора. Для плавного движения рабочего органа манипулятора по траектории тщательно подбирают форму контактирующих поверхностей и тип смазочного материала между ними.

Все механические конструкции, в том числе и манипуляторы, под действием нагрузки деформируются. Наличие упругих звеньев усложняет и без того достаточно трудную задачу управления механической рукой. В обычных манипуляторах жесткость звеньев не контролируется, так как организовать этот процесс технически сложно. При изготовлении манипулятора следует профили звена выполнять из специального материала и таким образом, чтобы его форма под действием сил растяжения, кручения и изгиба не изменялась.

6.3 Уравновешивание подвижных масс манипулятора

Манипулятор любой конструкции не должен перемещаться под действием собственной массы. Компенсация статических нагрузок от силы тяжести звеньев достигается уравновешиванием подвижных масс. Особенностью конструкции, изображенной на рис. 6.14, является выбор места крепления двигателя 2 на вращающемся относительно оси 1 звене 3. Другим способом уравновешивания может стать использование пружинных механизмов. В этом случае возникающий при повороте звена дополнительный момент уравновешивается переменной по значению силой упругой деформации пружины. На рис. 6.15 показана условно развернутая в плоскость кинематическая структура уравновешенных плечевого 2 и локтевого 1 звеньев промышленного робота ТУР-10.

Уравновешивание локтевого звена 1 производится с помощью пружины 3, закрепленной на поворотной платформе 6. Пружина через систему механических передач соединена с приводом качения локтевого звена. Постоянное уравновешивание статического момента, создаваемого локтевым звеном, механизмом ориентации и схватом с переносимым грузом, достигается использованием постоянной силы. Необходимое начальное усилие устанавливается прижатием пружины 3 с помощью гайки 4, а уравновешивание плечевого звена 2 — пружиной 7, которая в исходном положении слегка сжата. Ее рабочее усилие выбирается из расчета уравновешивания статического момента, создаваемого звеньями при максимальном отклонении их от вертикали 5. Шток 8 пружины с помощью системы механических передач соединен с приводом качения звена 2. На штоке имеется резьба, позволяющая при помощи гаек менять величину предварительного сжатия.

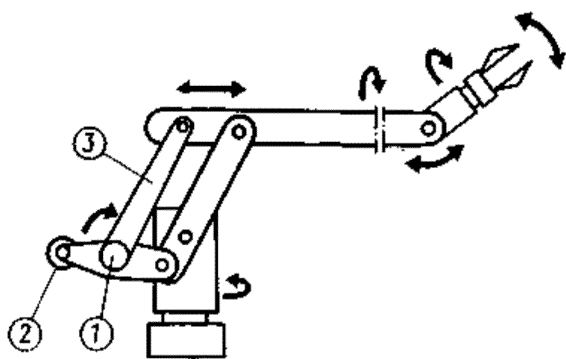


Рис. 6.14

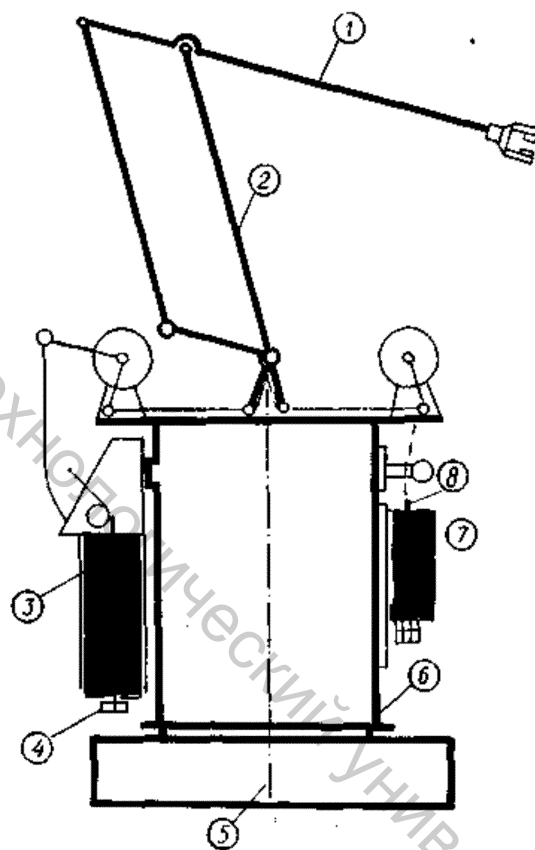


Рис. 6.15

Лекция 7 Информационные системы роботов

План:

1. Классификация информационных систем.
2. Дистанционные информационные системы.
3. Контактные информационные системы.
4. Телевизионные системы информации.

7.1 Классификация информационных систем

Расширение возможностей роботов связывают в первую очередь с решением проблемы их оцувствления датчиками информации. К 1995 году примерно половина робототехнических комплексов оснащена соответствующими системами.

Манипуляционный робот содержит информационную систему, по сигналам которой управляющая система способна вырабатывать команды, обеспечивающие целенаправленное взаимодействие механической руки с окружающей средой. Возможности манипуляционных роботов базируются на органическом взаимодействии развитой информационной, мощной управляющей и прецизионной механической систем.

Возможности информационной системы манипуляционных роботов первого поколения незначительны: в управляющую систему, реализующую жесткую программу работы, поступает информация о состоянии только исполнительной системы — механической руки.

В манипуляционных роботах второго поколения информационная система обеспечивает получение сведений об объекте манипулирования и окружающем рабочем пространстве. Расширение ее возможностей требует развития и усложнения управляющей системы, так как при этом существенно возрастает объем поступающей информации. Система управления роботом отличается иерархичностью, более высокими требованиями к памяти манипуляционного робота. Информационная система включает в себя комбинацию различных измерителей, начиная от простейших потенциометрических датчиков и заканчивая техническими аналогами зрения человека. Например, современный манипуляционный робот оснащается тактильными и магнитными датчиками, струйным сенсором, инфракрасным радаром, ультразвуковым дальномером, телевизионным анализатором видеосцен.

Информационные системы роботов третьего поколения призваны полностью обеспечить систему принятия решений требуемой информацией. Задачей управляющей системы является обработка поступающей информации и выработка команд на управление многозвенной механической рукой, причем оно должно быть оптимальным по скорости и точности.

Возможности современных манипуляционных роботов ограничены быстродействием существующих вычислительных машин. В связи с этим практически не всегда удастся переработать большие информационные массивы в реальном масштабе времени. Достаточно сказать, что для распознавания формы

простейших объектов требуется несколько минут работы ЭВМ. Очевидно, будущее за вычислительными машинами параллельного действия, использованием аналоговой обработки, мини-ЭВМ, биокомпьютерами.

Изучение свойств объектов, находящихся в зоне действия робота, может производиться информационной системой либо на некотором расстоянии, либо путем непосредственного взаимодействия. В соответствии с характером взаимодействия с объектом системы можно разделить на дистанционные и контактные. Первые позволяют оценивать характеристики и свойства объектов на значительных расстояниях и при наличии некоторых препятствий. Информационные возможности контактных систем выше, но они требуют нахождения датчиков информации в непосредственной близости от объекта и отсутствия препятствий.

7.2 Дистанционные информационные системы

Рассмотрим классификацию дистанционных систем, главным признаком которых является тип информационного поля (рис. 7.1). По своим информационным возможностям поля могут быть когерентными во времени, в пространстве или некогерентными. Параметры поля, когерентного во времени, измеренные в одной точке пространства в разные моменты времени, функционально связаны между собой. Параметры поля, когерентного в пространстве, измеренные в разных точках пространства в одно время, также функционально связаны. Когерентность полей позволяет извлекать максимум информации за счет пространственно-временной обработки.

Поля, когерентные во времени и в пространстве, называют *динамическими*, только в пространстве — *потенциальными*, некогерентные ни во времени, ни в пространстве — *корпускулярными*. В настоящее время в информационных системах используются динамические волновые поля: ультразвуковые, электромагнитные СВЧ-диапазона (радиотехнические) и электромагнитные оптического диапазона, в том числе инфракрасного. В ряду оптических следует отметить когерентные поля, получаемые с помощью лазерных устройств. По типу используемого поля можно выделить информационные системы ультразвукового и радиотехнического типа, оптические, лазерные и инфракрасные. Сравнение их показывает, что с уменьшением длины волны возрастают информационные возможности системы, однако усложняется оборудование и повышается его стоимость. Выбор длины волны влияет на дальность действия системы и характер распространения волн. Среда распространения, прозрачная для волн определенной длины, может оказаться непрозрачной для других.

Потенциальные поля обладают только пространственной когерентностью, поэтому их возможности по извлечению полезной информации меньше. В робототехнике нашли применение потенциальные электрические, магнитные и струйные поля. Взаимодействие корпускулярных полей обусловлено наличием потока частиц, положение которых в пространстве и во времени случайно и статистически независимо друг от друга. Среди возможных вариантов распространения получили поля, образованные потоками u -квантов и P -частиц.



Рис. 7.1

По способу локации объекта системы можно подразделить на активные, пассивные и полуактивные. В *активном* случае генерация поля и прием информации происходят в самой информационной системе; при пассивном — используется поле излучения самого объекта; при полуактивном — источник поля и информационная система расположены в различных точках пространства. Наиболее надежным является активный способ локации, так как качество информации может регулироваться выбором параметров генератора. При *пассивном* способе генератор не требуется, так как используется поле, излучаемое самим объектом; при *полуактивном* имеется большая свобода в выборе положения генераторами приемника, однако возникают дополнительные сложности в обработке информации, особенно в когерентных системах, когда необходим дополнительный канал связи между генератором и приемником.

По характеру извлекаемой информации системы делятся на координатные, распознающие и обнаружения.

Координатные системы предназначены для измерения угловых координат, дальности и скорости объекта. Выполнение этих операций основано на измерении параметров, принятых от объекта сигналов. Существует много способов измерения параметров сигналов и извлечения из них полезной информации.

Распознающие системы служат для определения формы и физических свойств объектов. По результатам распознавания определяется принадлежность объекта к тому или иному классу. Примерами такой классификации могут быть объекты овальной или прямоугольной формы, конкретного цвета или отражающей способности и т. д.

Системы обнаружения используются для ответа на вопрос о наличии объекта в некоторой области пространства.

7.3 Контактные информационные системы

Рассмотрим *контактные, или тактильные, системы*, которые имеют меньшее число классифицирующих признаков. По способу взаимодействия с объектом их можно разделить на непрерывные, прерывистые и сканирующие, а по характеру решаемых задач — на координатные, распознающие и системы обнаружения. Координатные системы могут быть непрерывными (многоканальными) или сканирующими (одноканальными). В зависимости от сложности решения задач распознавания системы подразделяются на непрерывные, прерывистые и сканирующие. Системы обнаружения строятся по принципу сканирующих. На основе перечисленных классифицирующих признаков можно составить схему. Работа информационных систем как дистанционного, так и контактного типа состоит из трех этапов: обнаружения, распознавания и измерения координат. Характерным моментом для существующих систем является совмещенный характер выполнения операций, который может быть временным или структурным. В первом случае различные задачи решаются одновременно (например, обнаружение с измерением координат), во втором — используются одни и те же элементы.

Распознавание объектов манипулирования — это процесс, при котором на основании полученной от измерительных устройств информации происходит выделение наиболее характерных признаков объекта и принимается решение о принадлежности его к определенному классу. В робототехнике для этих же целей служат тактильные, телевизионные, лазерные и другие устройства, принцип работы которых заключается в локации рабочего пространства манипуляционного робота. Распознавание осуществляется поэтапно. Вначале полученная информация используется для формирования первичных признаков объекта, которые являются выходным сигналом распознающей информационной системы.

Рассмотрим подходы к проблеме распознавания, применяемые в робототехнике. Наибольшее распространение получил метод сравнения полученного при локации изображения объекта с его эталоном (рис. 7.2). Работа устройства основана на тех же принципах, которыми руководствуется человек в поиске

необходимого ключа на связке. Поочередно сравнивая все ключи связки, он ищет тот, у которого пилообразные профили бородок совпадают с образцом.

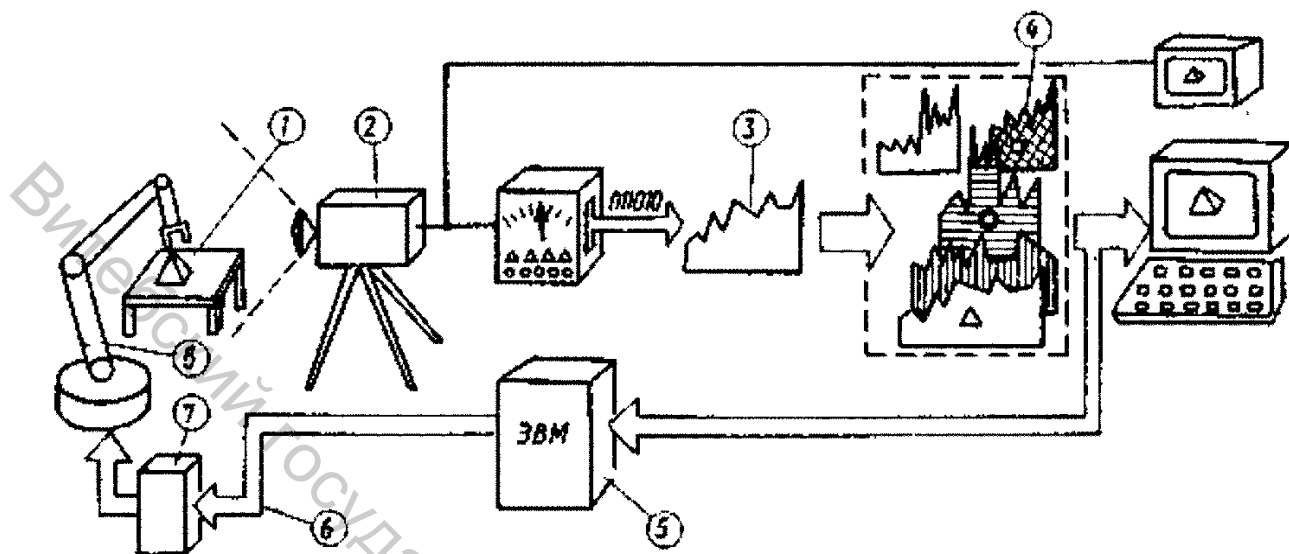


Рис. 7.2

В процессе распознавания изображение 1 преобразуется датчиком 2 в электрический сигнал, параметры которого связаны с формой предмета, так как имеют характерные для каждого объекта сочетания пиков и впадин амплитуд 3. Этот сигнал предварительно преобразуется в цифровой код (состоит из нулей и единиц), который ЭВМ 5 должна запомнить и «понять». Записанные в память сигналы 4, соответствующие различным предметам (например, гайкам, винтам, шайбам), составляют банк цифровых эталонов объектов. При непосредственном распознавании цифровой код объекта 3 сравнивается с записанными ранее в машину эталонами 4. В дальнейшем получаемая информация используется для организации взаимодействия с предметами. С каждым объектом выполняются определенные действия, преобразуемые впоследствии в управляющие сигналы 6 исполнительных приводов 7 манипулятора 8.

При всей изобретательности система, основанная на переборе и сравнении анализируемых изображений, имеет ряд недостатков. Она может быть запрограммирована на ограниченный набор эталонов (обычно не более 100), изображение неосесимметричных предметов может изменяться при перемене угла зрения и расстояния до них. Следствием является «капризность» процесса распознавания.

Кроме корреляционного, в робототехнике широко применяется структурный метод распознавания, основанный на анализе характерных геометрических особенностей объектов манипулирования. Изображение формируется из набора локальных признаков, объединение которых происходит по правилам, определяющим так называемую формальную грамматику. Например, при распознавании призмы ее грани представляются прямолинейными отрезками, а грамматика — набором правил, по которым нужно построить первый отрезок, а затем

последовательно присоединять к получаемому изображению другие части. В результате создается упрощенное описание призмы. При таком подходе правильный результат удастся получить лишь при безошибочном распознавании всех элементов: отрезков, вершин, кривых. Практически это выполнить трудно, поэтому используется усложнение: задаются правила составления эталонных объектов из простейших отрезков, затем для каждого объекта находят изображение, максимально приближающееся к эталонному. Этот способ широко применяется в криминалистике при установлении портрета преступника. На основании данных, полученных от свидетелей, характерные признаки лица человека (глаза, нос, губы и т. д.) объединяются фотороботом в портрет.

Процесс распознавания трехмерных образов в робототехнике может происходить, например, по информации сканирующего лазерного измерителя расстояния и протекает в несколько этапов. На первом формируется последовательность трехмерных (декартовых) координат объекта — первичные признаки (скачок дальности, прямая линия, эллипс, парабола, гипербола). Остальными компонентами являются соответственно знак и метрические признаки, характеризующие размеры и положение линии в плоскости сканирования. На втором этапе на основе сшивания таких отрезков осуществляется параметрическое сравнение объектов. Полученная кривая сопоставляется с грамматикой объектов, ограниченных поверхностями не выше второго порядка. Процедура размещения тел в рабочем пространстве робота сводится к пересчету коэффициентов уравнений, образующих поверхность. Вычисления для сложных объектов занимают десятки минут.

В будущем для решения задач распознавания могут применяться голографические методы. Основное их достоинство — непосредственный анализ трехмерных координат объектов. Голографическое изображение объектов обеспечивает достаточно высокое качество получаемых изображений, возможность выдачи информации на соответствующую аппаратуру в параллельном коде, надежность записи эталона объекта. Каждый участок голограммы содержит информацию обо всем объекте в целом. Использование голографии в робототехнике практически пока не реально, так как воспроизведение голографического изображения объекта должно осуществляться специальной телекамерой, передающая трубка которой должна иметь разрешающую способность от 500 до 1000 линий на миллиметр. Разрешающая же способность современных передающих трубок — всего лишь 100 линий. Некоторые трудности возникают и при использовании когерентных источников света.

Кроме распознавания объектов по форме, возможно распознавание объектов по цвету, химическому составу, удельной плотности и т. д.

Тактильные системы — одно из первых средств очувствления манипуляционных роботов, что объясняется относительной простотой их конструкции (рис. 7.3). Простейший схват с таким датчиком состоит из основания 1, изоляционного материала 2, чувствительных элементов 3, реагирующих на форму предмета. Непосредственный контакт с предметом осуществляется специальными синтетическими прокладками 4, 5, изготовленными из токопроводящего

материала. *Локация пространства* производится двумя способами. В первом случае процесс распознавания реализуется по иерархическому принципу и имеет три уровня: распознавание формы объекта в некоторой его части (находится в контакте с тактильной поверхностью); распознавание формы благодаря схватыванию объекта манипулятором робота; распознавание с помощью ощупывания объекта. В результате трехмерный образ объекта заменяется рядом двухмерных, которые последовательно вводятся в ЦВМ и суммируются, выявляя трехмерный пространственный образ.

Во втором случае обрабатывается информация, получаемая от тактильных датчиков, расположенных на схвате робота с высокой плотностью.

В качестве примера приведем результаты эксперимента по тактильному распознаванию объектов двух категорий — цилиндра и призмы. На схвате робота имелось 22 контактных датчика. Для получения коэффициентов плоскости использовались цилиндр диаметром 90 мм и призма со стороной квадрата 70 мм. В эксперименте участвовало по пять предметов каждой категории различных размеров. Каждый из предметов схватывался механической рукой 10 раз. Классификация осуществлялась автоматически в результате последовательно проводимых операций: поиск, захват объекта и его классификация. Схватывание и классификация производились в таком порядке: обнаружение объекта, охватывание его большим и указательным пальцами, отделение указательного пальца, схватывание пятью пальцами и классификация. Исследования показали, что для предметов, слабо отличающихся по размерам от эталонных, число правильных ответов превышает 90%.

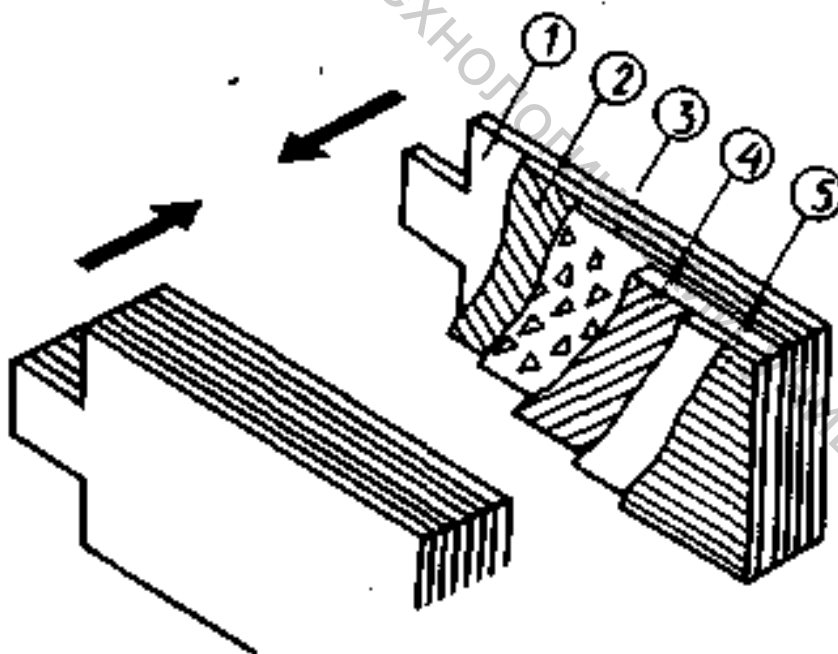


Рис. 7.3

Тактильные системы могут использоваться и для решения задач сборки. Например, выполнение операций по точной установке кубиков друг на друга проводилось с помощью тактильных датчиков высокой чувствительности, кон-

струкция схвата многозвенная с возможностью управления формой звеньев в соответствии с формой захватываемого объекта. Матрица, состоящая из тактильных пропорциональных датчиков перемещения 3Х3, позволяет с достаточной точностью определять форму локального участка поверхности объекта при непосредственном контакте с ним. Тактильный сенсор состоит из захвата и информационного штыря. На губках захвата размещаются тензометрические датчики усилия втягивания заготовок, в конце информационного штыря матрица 15 X 15 мм из девяти проволочных линейных потенциометров. Результаты исследования позволили разработать ряд промышленных тактильных систем.

7.4 Телевизионные системы информации

Возможности телевизионных систем по сравнению с другими системами локации рабочего пространства манипуляционного робота достаточно высоки. Известный философ Аристотель писал: «Зрительные восприятия, ибо видение мы предпочитаем всем остальным восприятиям, не только ради того, чтобы действовать, но и тогда, когда мы не собираемся что-либо делать. И причина этого в том, что зрение больше других чувств содействует нашему познанию и обнаруживает множество различий в вещах». К этим качественным оценкам можно добавить, что человек через зрительный анализатор получает около 90 % всей информации.

Основы теории и техника телевизионной передачи информации были заложены в России под руководством ученого Б. Л. Розинга. С помощью телевизионной камеры и соответствующей аппаратуры обработки информации можно распознать форму предмета, его положение, направляющее движение, цвет и т. д. Эта аппаратура нашла самое широкое использование в роботостроении. Примером могут служить сборочные линии автомобилей «Вольво» (Швеция), где операции сборки выполняют роботы, оснащенные техническим телевизионным зрением. После применения ТВ-камер для получения информации о протекании производственных технологических процессов стало возможным осуществление полной автоматизации процесса окраски автомобилей, включая труднодоступные места. Система работает в реальном масштабе времени, скорость окраски до 2,5 м/с.

Аналогичные системы разработаны в СССР, США, ФРГ, ПНР и других странах. Например, манипуляционный робот ТЗ, который применяется для точечной сварки в автотракторной промышленности, в составе своей информационной системы содержит ТВ-систему сопровождения детали на линиях сборки и сварки. Эта система не требует дополнительных производственных площадей и позволяет роботу выполнять операции на изделиях, движущихся мимо него на конвейере.

Классическим примером использования телевизионной информации на исследовательских роботах можно считать луноходы различных модификаций. Большая часть информации об исследуемой поверхности и операциях поступает именно по этому каналу.

Наметились два основных способа применения зрительной информации.

Первый заключается в том, что визуальная обратная связь манипуляционного робота с рабочим пространством замыкается на определенное время, в течение которого производится предварительная обработка информации о сцене, поступающей с ТВ-камеры. В моменты, когда эта связь разрывается, манипулятор работает вслепую. При втором способе обработки информации визуальная обратная связь замкнута постоянно. Управляющие воздействия непрерывно корректируются с учетом постоянно поступающей в систему управления информации.

Телевизионные системы широко применяются для распознавания формы объектов манипулирования. В отличие от чистого распознавания образов по телевизионному изображению сцены система манипулятор — ТВ-камера рассматривается как активная. При этом подразумевается, что манипулятор может взять объект в схват и «показать» «телеглазу» тот или иной его ракурс, изменить ориентацию относительно «телеглаза» (см. рис. 7.2). Дополнительные возможности представляются при изменении положения источников освещения объектов. Положение объекта может оставаться неизменным, а манипулятор, специально предназначенный для этой цели, по командам с управляющего устройства должен перемещать источник освещения. Освещенность объекта при этом меняется, и распознавание облегчается за счет лучшего выделения граней и других характерных точек.

Непосредственная передача информации от ТВ-камеры в устройство управления робота в определенной степени не выгодна. Сцена воспринимается полностью, с равной тщательностью выделяются и фон, и интересующий исследователя объект. Если провести сравнение с биологическими системами (например, глазом лягушки), то можно отметить, что зрительная система прежде всего очищает полученное изображение сцены от ненужной избыточности информации. Нейроны глаза выделяют характерные точки изображения: одни из них — границу между белым и черным, другие — грани интересующего объекта, третьи — селектируют движение объектов и т. д. Та же лягушка не реагирует на любую, даже самую лакомую, неподвижную добычу. Сетчатка глаза может выделять контуры предмета, и это принципиально важно.

Мозг человека обрабатывает не всю, а лишь 1 % информации, воспринимаемой органами чувств, остальные 99 % отбрасываются. Человеку достаточно 0,05 с, чтобы распознать объект, изображение которого зафиксировал глаз. На этом же принципе выделения контуров и характерных точек работает большинство систем распознавания: сначала выделяются контуры предмета, а затем осуществляется сравнение полученного контура с имеющимся в памяти управляющего устройства.

Телевизионная автоматическая система анализа изображений трехмерных сцен обычно обеспечивает информацией нижний уровень в системе управления манипуляционным роботом и состоит из ТВ-камеры, блока предварительной обработки видеосигнала, канала связи с ЭВМ типа «Электроника-100», блоков адаптации. Изображение, полученное на выходе телекамеры, вводится сначала в ЭВМ, где осуществляется простейшая обработка: определяется средняя яр-

кость, ее минимальное и максимальное значение в фрагменте. Затем изображение вводится в центральный процессор для аппаратурного выполнения более сложных операций: выделяются контуры изофорт, объекты в поле зрения и данный объект среди других по признаку связанности в двухмерном изображении, удаляются отдельные малоразмерные точки. Аппаратурная обработка используется для повышения скорости обработки информации, полученной от ТВ-камеры.

Вопрос практической работы робота, оснащенного телевизионной системой, в реальном масштабе времени является одним из самых острых. Усилия инженеров и исследователей направлены на сокращение времени распознавания объекта манипулирования. Для этого используют различные приемы: контрастирующий фон, наборы светофильтров, специальное освещение, дальнометры, цветовую маркировку объектов манипулирования, тактильные датчики, разбивку кадра изображения с различной степенью детализации и т. д.

Рассмотрим эти приемы на конкретных примерах. Для придания контрастирующего фона объект можно поместить на фоне поверхности, покрытой флюоресцирующей краской, и освещенной лампами, дающими ультрафиолетовый свет. Наилучшие результаты получены при использовании красного светофильтра, при изменении углов освещенности объекта манипулирования, а также при помещении объекта на освещенную с обратной стороны прозрачную пластину. Однако возрастание количества информации, поступающей с видикона ТВ-камеры, при увеличении числа строк делает практически невозможной работу манипуляционного робота в реальном масштабе времени.

Телевизионное изображение, полученное на экране телевизора, — двухмерное, а реальные объекты манипулирования — трехмерные. Существует ряд приемов, при помощи которых удастся получить информацию о третьей угловой координате. Одним из основных является применение *стереотелевизионного метода восприятия сцены*. Он позволяет, например, осуществить построение плана окружающей местности автономным подвижным роботом, обеспечить надежное распознавание деталей на подвижном конвейере, получить информацию о различных параметрах движения объектов манипулирования. При этом информационная система содержит несколько ТВ-камер (либо одну камеру с системой получения информации с разных планов), идентичные оптические каналы и оптико-электронный преобразователь; ТВ-камеры воспринимают параллельные планы пространства, в котором функционирует манипуляционный робот. Преобразователь осуществляет дискретизацию и квантование получаемой информации и передает ее в управляющее устройство. Пространственное расположение ТВ-камер может быть самым разнообразным, например, они могут находиться на неподвижном основании, в схвате робота, в наклонной плоскости и параллельно горизонту.

Другим приемом, позволяющим получить информацию о третьей координате, является *использование лазерных маркерных меток*.

Оптические информационные системы на фотоэлементах обладают определенными возможностями по распознаванию формы объектов. Для этих уст-

роиств характерно наличие информационных поверхностей, выполненных в виде матриц. Элементами последних являются фотосопротивления, фотодиоды и прочие фотоэлементы.

Такая информационная система часто выполняется на основе чувствительной поверхности бесконтактного типа, которая образовывается наложением двух взаимно перпендикулярных полей, создаваемых оптическим источником света. Координатная фоторелейная матрица, образованная светоизлучателями и приемниками, работает на основе метода проекций или теней. Плоскость матрицы может быть совмещена с плоскостью рабочего стола или лентой конвейера. Специальный блок определяет параметры положения предмета, координаты геометрического центра по положению теневых проекций на линейке фотоприемников и угол ориентации большей оси симметрии. В этом случае на вход системы управления роботом поступает информация о координатах точки его рабочей зоны, в которую выводится схват, и значении угла поворота схвата. При недостаточно точном определении положения предмета по сигналам, идущим от дополнительного датчика, расположенного в схвате робота, дополнительная информация поступает в систему управления и по ней осуществляется дополнительный разворот схвата. Известна установка с чувствительной поверхностью элементов, образованной матрицами светоизлучателей и приемников. Приведем ее технические характеристики: разрешение — 10 мм, точность определения центра предмета 22—5 мм, угол ориентации большей оси предмета — до 10° , время обработки информации — 1 с, потребляемая мощность — 180 Вт, высокая надежность работы.

Примером использования оптических локационных систем для организации движения может быть робот, предназначенный для чистки поверхностей щетками, отсоса пыли, стрижки газонов и т. д. Для выполнения работ на поверхности предусмотрены автоматическое ориентирование и управление, осуществляющиеся по сигналам устройств, которые измеряют параметры, определяющие его положение на поверхности и в пространстве. Полученные сигналы поступают в устройство обработки информации, где формируются команды управления движением. Робот передвигается по поверхности и выполняет необходимые операции. Информационные параметры на большой дальности измеряются при помощи оптических локационных устройств, на малой — ультразвуковых.

Дополнительные возможности распознавания объекта кроются в его цветовой окраске. Цветовое зрение у человека обусловлено наличием специальных генов, ответственных за синтез пигментов. Это — белки, имеющие форму колбочки и входящие в состав глазных клеток. При попадании на глаз света они инициируют целую цепь химических реакций, следствием которых является появление «цветового» сигнала, поступающего в мозг. Такие пигменты чувствительны всего к трем цветам: красному, зеленому и синему.

«Интегральный глаз» робота также может различать цвета, но делает это хуже, да и то в условиях хорошей освещенности. Испытанию на распознавание подвергались объекты голубого, красного и черного цветов. Характеристики

различимости отдельных цветов были достаточно высокими. «Свой» цвет определяется с вероятностью в 100 %. Максимальная ошибка — для голубого цвета, 80 % — для зеленого и наименьшая — 10 % для красного цвета. После опознания цвета робот принимает решение об отнесении объекта к конкретному классу.

Функционирование подвижного манипуляционного робота осуществляется в ограниченной области пространства, которая называется рабочей зоной. Размеры ее определяются задачами, возложенными на робота, и колеблются от нескольких сантиметров (для микроманипуляционных роботов) до десятков метров. В пределах этой зоны объекты могут размещаться и перемещаться произвольным образом.

Перед началом этапа манипулирования надо иметь представление о количестве и характере размещения объектов в зоне. Эту задачу выполняют обзорно-поисковые системы, в которых могут использоваться все типы электромагнитных полей, ультразвуковые колебания упругой среды, гамма-излучения. Принципы построения обзорно-поисковых систем зависят от способа локации пространства и характеристик объектов. По своим свойствам объекты можно разделить на точечные и протяженные. Первые используются в том случае, если они оборудованы специальными источниками излучения — маркерами. Наиболее характерными являются протяженные объекты. Для них в процессе обзора приходится учитывать конфигурацию и относительное расположение в зоне.

В зависимости от назначения робота возможны различные режимы обзора пространства. Наиболее распространенным считается непрерывный. Примером может служить оптико-механическая система, которая была установлена на «Луноходе-1». Она предназначена для получения информации в виде ТВ-изображения окружающей местности и съемки участков звездного неба и состоит из четырех панорамных ТВ-фотокамер. Расположение последних обеспечивает подробное изучение всей местности вокруг аппарата во время его остановки.

В некоторых обзорно-поисковых системах обзор пространства производится только до обнаружения первого объекта, а затем измеритель переводится в режим автоматического измерения параметров. Эффективность обзорно-поисковых систем зависит от закона просмотра пространства. Он может быть строчным, спиральным, циклоидным или изменяться с целью обеспечения наиболее эффективного поиска объектов. В последнем случае возможно изменение скорости, последовательности обзора, времени просмотра отдельных его элементов и т. д.

В управляющей системе манипуляционного робота на основе анализа предыдущей информации вырабатываются команды на осмотр и выделение наиболее интересных (с точки зрения достижения конечной цели) зон. Последние либо просматриваются в первую очередь, либо подробнее и более длительное время, либо и то и другое вместе. Наибольшую эффективность обзорно-поисковые системы имеют при одновременном многоканальном обзоре всей

рабочей зоны.

Для измерения параметров объекта используются различные методы. Определение дальности осуществляется на основании измерения времени между моментом излучения сигнала передатчиком и моментом регистрации сигнала, отраженного от объекта. Время задержки может измеряться двумя способами. В первом случае фиксируется время между излучением и приемом сигнала, во втором — измеряется разность частот или фаз принимаемых сигналов. Кроме того, широко применяется способ установления дальности, основанный на определении двух углов конкретной точки объекта и соответствующих триангуляционных вычислений. Методы измерения дальности подразделяются на импульсные, частотные, фазовые и триангуляционные.

Импульсный метод применяется для предварительного наведения более точных измерителей на большие расстояния. Например, в подвижном роботе импульсным сигналом может быть «грубый» ультразвуковой и «точный» инфракрасный, локаторы. Основное его достоинство — простота реализации, недостаток — невысокая точность измерения.

При *частотном* и *фазовом* методах возможно применение непрерывных сигналов. Информацию о дальности получают путем измерения разности фаз излученного и принятого сигналов. Однозначное измерение дальности возможно в интервале изменения фаз от нуля до 90° , в связи с чем величина максимальной дальности составляет половину длины волны. Для ультразвуковых измерителей это расстояние соответствует нескольким сантиметрам, для оптических — нескольким тысячам ангстрем. Для увеличения диапазона однозначного определения дальности можно использовать многочастотный сигнал и модуляцию непрерывного сигнала.

Ультразвуковые системы служат для информационного обеспечения роботов и подводных аппаратов. Одним из наиболее интересных устройств, созданных в робототехнике для решения манипуляционных задач, можно считать разработку ультразвуковых систем локального самонаведения схвата робота на объект манипулирования. Схват робота 2 (рис. 7.4) имеет группу приемопередатчиков 1, информация от которых обеспечивает возможность захвата деталей, ориентированных произвольным образом на рабочем столе. При наведении схвата 2 осуществляется измерение одной угловой координаты, детали. Ультразвуковая система реализует принципы моноимпульсной локации. Для определения равносигнального направления служит фазовый метод. Точность работы подобного устройства достаточна для решения задачи захвата объекта манипулирования. Звуковые измерители используют эффект колебания резонанса в пьезокристалле на частоте около 40 кГц. Передатчик обеспечивает излучение импульса длительностью 1 мс на несущей частоте 40 кГц. Точностные характеристики ультразвуковой системы позволяют определить расстояние фазовым методом в диапазоне от 0,2 до 2,0 м с точностью до 2 %. Подобная точность обусловлена в первую очередь зависимостью скорости распространения ультразвуковых колебаний от плотности среды. В малопрозрачных средах, например под водой, ультразвуковые измерители схватов роботов применялись в

интервале расстояний от 0,01 до 0,1 м. Хорошо работает в водяной среде и ультразвуковая система бокового обзора. Например, ультразвуковой локатор бокового обзора при ширине полосы захвата 30 м обеспечивает разрешающую способность 0,15 м.

Технические характеристики типичных ультразвуковых измерителей следующие: диаграмма направленности — до 10° , частота — 40—60 кГц, габариты — 35X X 80 мм, обладают способностью обнаруживать предметы размером в спичку на расстоянии до 2 м.

Лазерные измерители являются когерентными источниками оптических электромагнитных волн. Ширина диаграмм излучения для твердотельных лазеров составляет единицы миллирадиана, для газовых — десятые доли. Такие узкие диаграммы позволяют получить весьма детальную информацию об объекте манипулирования, а также о состоянии рабочего пространства робота в целом. Работа лазерных измерителей существенно зависит от условий распространения лазерного излучения в реальной среде, поэтому точность их работы существенно ухудшается во время дождя, тумана, пылевых образований и т. п. Размеры лоцируемых объектов во много раз превышают длину волны излучения, поэтому при организации локации пространства необходимо либо использовать предварительное наведение лазерного луча на объект, либо производить обзор всего пространства, в котором функционирует робот. При локации удаленных объектов в отраженном сигнале начинает проявляться квантовая природа световых сигналов.

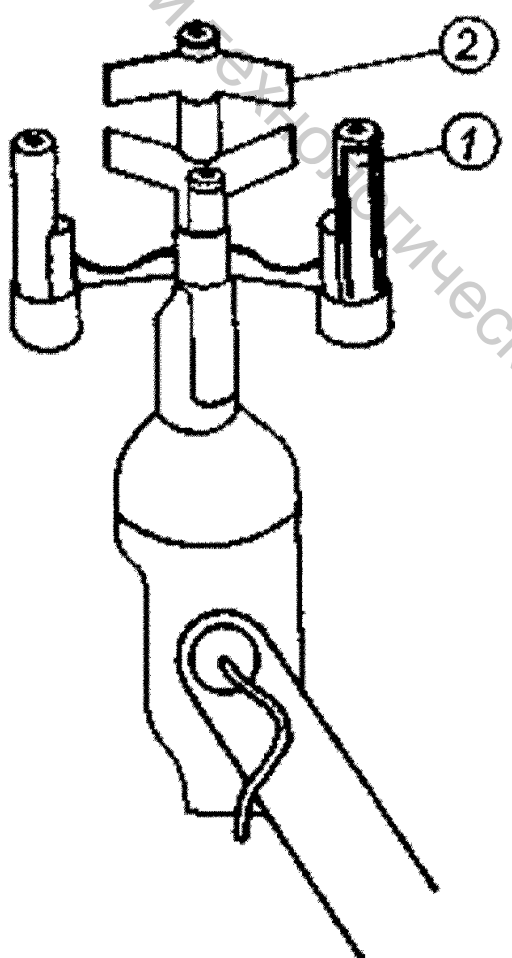


Рис. 7.4

Широкое применение нашли *лазерные измерители расстояния*. В качестве примера можно привести дальномер (рис. 7.5), состоящий из приемопередатчика лазерного излучения 2, узла сканирования 1 и поворотных устройств 3, обеспечивающих возможность управлять направлением обзора пространства шагающим роботом. В дальномере применен полупроводниковый лазер с мощностью излучения в импульсе порядка 5 Вт и частотой 2 кГц. Измерение расстояния осуществляется фазовым методом с точностью порядка 3 см в интервале 0,6—6 м. Сканирующая система обеспечивает обзор пространства в секторе $\pm 28^\circ$, а поворотная платформа — в секторах $\pm 90^\circ$ по азимуту и $\pm 110^\circ$ по углу места; угловые скорости — 45 град/с.

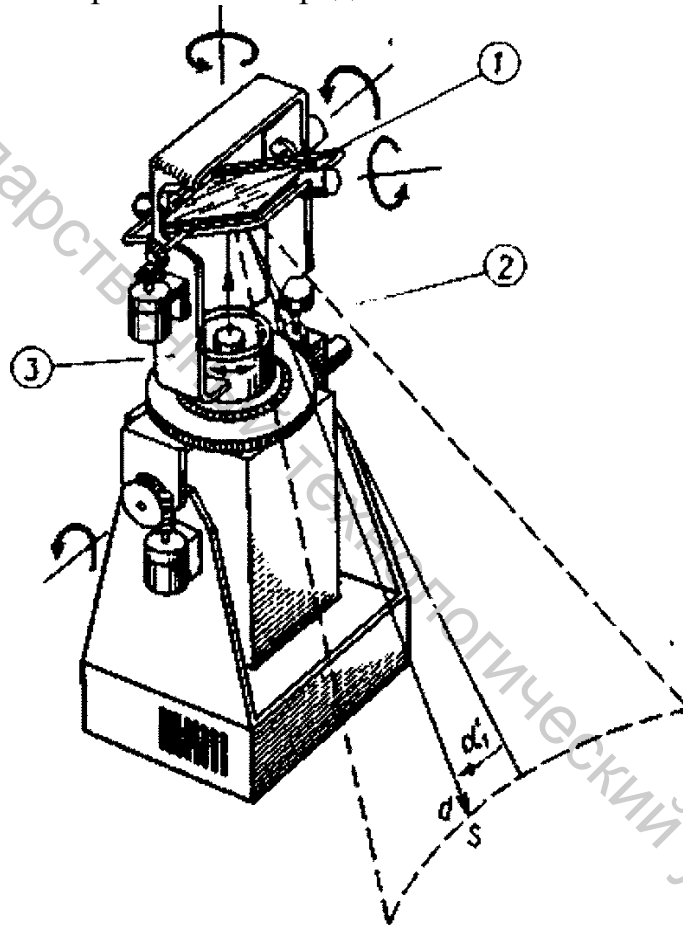


Рис. 7.5

Реальные объекты излучают в пространство инфракрасные сигналы. Термодинамическая температура почти всех лоцируемых объектов одинакова и составляет около 300 К. Интенсивность излучения в этом диапазоне электромагнитных волн в основном определяется излучающей способностью самих тел.

В манипуляционном роботе инфракрасный измеритель использовался в составе информационной системы, содержащей телевизионные, тактильные и струйные системы. Это связано с тем, что диаграммы направленности инфракрасных измерителей узки и требуют предварительного наведения системы на

объект. В работе «Смит» инфракрасная система служит для точного измерения дальности в диапазоне до 2,5 м. Точность измерений составляет $\pm 0,5$ мм. Предварительное наведение — ультразвуковым локатором. Из-за относительно сложной конструкции инфракрасные системы в робототехнике широкого распространения пока не получили.

К *оптическим системам* (рис. 7.6) относят фотооптические устройства, содержащие излучатель 2 и приемники 1, работающие по сигналам некогерентного светового излучения. Они используют принцип модуляции луча и производят измерение интенсивности отраженного светового потока. Их недостатками является низкая помехозащищенность и необходимость поддержания высокой чистоты поверхностей фотометрических датчиков.

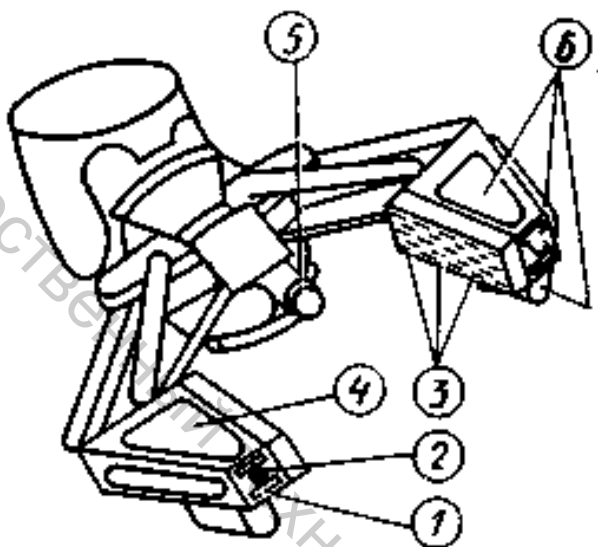


Рис. 7.6

Фотооптические устройства применяются при отсутствии непосредственного контакта с поверхностью самого датчика (например, в системе автоматизации производства и транспортировки телевизионных кинескопов, куда входит манипуляционный робот, оснащенный датчиками слежения и определения положения параметров рабочей среды). В связи с тем, что кинескопы устанавливают на движущиеся устройства подвеса, требуется параллельное перемещение манипулятора. Для этой цели служит специальная система слежения за устройствами подвески монорельсового конвейера. Она состоит из светоотражающей мишени, маркера, объектива, фильтра, датчика линейного перемещения, предусилителя, термоэлектрического холодильника, световода и источника света. Маркер выполняется из клеящейся фольги. В качестве источника света используется 24-вольтовая проекционная лампа, работающая от источника постоянного напряжения. Кроме того, в составе системы имеется двигатель. Светоотражающая мишень закрепляется на устройствах подвески кинескопов. Световой поток, отраженный ими, падает на датчик линейного перемещения — фотодетектор. Излучение лампы источника света модулируется при помощи вращаемого диска. Выходной сигнал системы служит для организации движения манипулятора.

Пневматические измерители используют различные струйные эффекты. Их достоинства — работа во взрывоопасных помещениях, простота технического исполнения, отсутствие источников электрического питания.

Схват манипуляционного робота приводится в движение в трех взаимно перпендикулярных плоскостях при помощи шаговых двигателей, связанных с винтовой передачей. Рука оборудована тремя пальцами, которые располагаются вертикально и отстоят друг от друга на 120° . Пальцы схвата могут перемещаться в радиальном направлении. Движение их синхронно, т. е. в каждый момент времени все пальцы находятся на одинаковом расстоянии от оси руки. На торцах пальцев установлены струйные датчики со струей-конусом.

Процедура по захвату объекта начинается с опускания руки из исходного положения до момента срабатывания одного из датчиков близости. Затем следует поиск положения оси объекта в горизонтальной плоскости. Центром руки считается центр окружности, на которой располагаются датчики. В процессе определения положения объекта выделяются окружности, соответствующие областям положения центра руки. Выходные сигналы всех трех датчиков равняются либо нулю, либо единице. Окружности делят плоскость на восемь областей. Направление движения руки определяется сочетанием выходных сигналов всех датчиков измерительной системы. Ошибка позиционирования зависит от разрешающей способности пневмодатчиков близости. Расстояние между торцом объекта и обрезом датчика в процессе поиска не превышает 2 мм. Выходной сигнал датчика поступает на пневмоэлектропереключатель. При давлении 0,3 Н суммарный гистерезис датчика и переключателя не превышает 0,03 мм скоростей перемещения руки: по оси X — 23 мм/с, Y — 20 мм/с, ошибка во всех случаях не более 0,5 мм.

Возможности телевизионных систем по измерению определенных параметров можно проиллюстрировать теми точностными характеристиками, которые были получены на роботе ЛПИ-2. Нахождение пространственных координат объектов и их размеров проводилось двумя методами: по положению объекта при автоматической фокусировке на заданный фрагмент сцены — методом опорной плоскости; в предположении, что все объекты находятся на некоторой плоскости, положение которой относительно ТВ-камеры известно. По первому методу ошибка на расстоянии 10 м не превышала 10 % и составляла единицы процентов на расстоянии 3 м. По второму методу с учетом ошибки, вносимой платформой, на которой находилась ТВ-камера, погрешность составляла 1,5—8 %. Ошибки в определении высоты объектов зависели от удаленности.

В роботе «Марк-2», состоящем из мини-ЭВМ, манипулятора и измерителя, выполненного на базе ТВ-камеры, применяется оригинальный прибор, предназначенный для программного управления манипуляционным роботом. Манипулятор имеет три поступательных и одну вращательную степени свободы. Запись программы осуществляется следующим образом. В схвате робота размещаются три светоизлучающих диода, причем два из них — на торцевой части губок схвата, а третий — между губками. Первоначально определяется

равно-сигнальное направление на визуальный программный прибор, а затем схват ориентируется в направлении на объект. После этого осуществляется локационное измерение угловых координат и ориентации объекта. Измеренные параметры записываются в память мини-ЭВМ. При работе манипулятора по записанной программе ТВ-камера с помощью оптических маркеров лоцирует положение схвата в пространстве. Измеренные параметры используются для вычисления положения и ориентации схвата.

Примером применения локационных систем манипуляционных роботов с некогерентными информационными полями служат *радиоизотопные измерители*, которые используют радиоактивные источники γ - и β -излучений. Конструкция подобных систем сравнительно несложная, а влияние внешних условий на результаты измерений сведено к минимуму. Следует отметить, что потенциальные возможности подобных измерителей ниже, чем волновых, так как радиоактивные излучения не обладают ни временной, ни пространственной когерентностью. Исключение составляет возможность использования эффекта Мёсбауэра для определения радиальной скорости сближения. Однако ограниченные возможности самого эффекта и трудности, возникающие при практической реализации, являются серьезным препятствием для его широкого внедрения в робототехнике.

Радиоизотопные измерители, интенсивность излучения которых не превышает санитарно допустимых уровней, можно применять для определения угловых координат объектов манипулирования с достаточно высокой точностью в пределах рабочей зоны манипулятора робота от 0,5 до 2,0 м. Точность измерения дальности при таких интенсивностях излучения сравнительно низкая и составляет несколько процентов. Поэтому для повышения точности система должна иметь несколько угловых пеленгаторов с последующим вычислением дальности до объекта триангуляционными методами.

При эксплуатации промышленных манипуляционных роботов в ряде случаев имеется возможность маркировки либо объекта манипулирования, либо другой интересующей нас характерной точки (например, схвата робота или звена механической руки). Практически это осуществляется с помощью радиационной краски или размещения радиоизотопного источника на объекте локации. При локации такой источник считается точечным в том смысле, что угловые размеры маркированной области намного меньше ширины диаграммы направленности измерителя. Выбор интенсивности излучения и энергии источника при этом играет важную роль как с точки зрения биологической защиты, так и с точки зрения точности измерений. В первом случае снижение интенсивности нежелательно. Поэтому одним из основных является вопрос определения зависимости точности измерения от величины интенсивности излучения. Заметим, что на последнюю существенно влияет и расстояние до объекта локации. Схема измерительного комплекса (рис. 7.7), по сигналам которого осуществляется управление положением манипулятора робота 1, состоит из системы управления поворотными платформами 2, вычислителя 4 (выполняет обсчет координат объекта по триангуляционным формулам) и детекторов 3, разме-

щенных на поворотных платформах. Точность вычисления координат объекта в первую очередь определяется точностью измерений угловых координат. Принцип действия угловой следящей системы основан на измерении углового рассогласования между осью измерителя и направлением на точечный источник радиоактивного излучения. Измерение в одной плоскости производится двухканальным измерителем (рис. 7.8), состоящим из двух коллиматоров 1, двух детекторов 2, двух формирователей 3, схемы разности 4 и сглаживающего фильтра 5. Оси коллиматоров симметрично рассовмещены в противоположных направлениях от оси измерителя. При помощи коллиматоров формируются две диаграммы направленности принятого сигнала, образующие равносигнальное направление. При этом импульсы тока с выхода детекторов поступают на формирователи, на выходе которых получаются импульсы стандартной длительности и амплитуды.

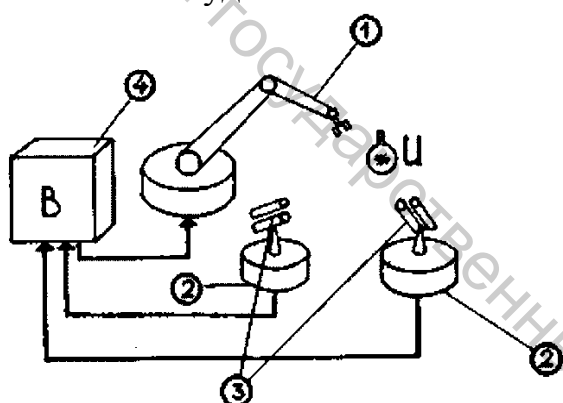


Рис. 7.7

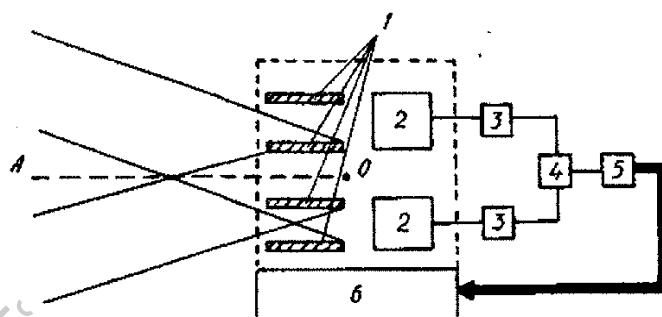


Рис. 7.8

Выходное напряжение поступает на систему управления 6 и поворачивает платформу, стремясь совместить ось измерителя OA с направлением источника радиоактивного излучения, обозначенного звездочкой.

Подобный измеритель будет работать с ошибками, обусловленными рядом причин. Наиболее характерна составляющая ошибки, которая зависит от дискретности поступления информации на систему. Кванты излучения регистрируются детекторами в случайные моменты времени. Случайность регистрации излучения определяется статистическим характером радиоактивного распада источника излучения. Из-за нелинейной зависимости интенсивности от углового рассогласования и наличия формирователя измеритель будет к тому же и нелинейной системой. Другими причинами ошибок могут быть шумы элементов системы и фоновое излучение. Величина фона для сцинтилляционного детектора из $NaI(Tl)$ диаметром 40 мм составляет 20—30 единиц, но, так как измеритель является двухканальной системой, влияние фоновой составляющей незначительно.

Обзорно-поисковые измерители позволяют решить задачу поиска радиоактивных источников на местности.

Для этих целей был предложен подвижный робот с кожухом и рамой, на которых устанавливается обзорно-поисковая система, осуществляющая полу-

чение координат радиоактивных препаратов, расположенных на исследуемой поверхности. При помощи привода производится перемещение измерителя сигналов обзорно-поисковой системы над поверхностью. Робот приводится в движение механизмом, работающим по сигналам, полученным от информационной системы. Так как сканирование осуществляется электромеханическим приводом, в конструкции робота предусмотрена также возможность компенсации относительного перемещения соответствующих узлов устройства с момента регистрации излучения до момента приведения аппарата в действие.

Применение радиотехнических систем измерения параметров сводится в основном к определению углового местоположения подвижного робота на местности. Ориентация транспортных автономных аппаратов среди объектов реального мира является необходимым условием функционирования робота. Один из путей решения этой задачи — использование навигационных маяков. Какой облик имеет такая система?

На транспортном подвижном роботе установлен приемник с направленной антенной системой, жестко связанной с корпусом аппарата. Передатчик радиомаяка также имеет остронаправленную диаграмму, непрерывно вращающуюся по кругу. В моменты, когда диаграмма передатчика совпадает с направлением на север и запад, радиомаяки излучают кратковременные импульсы. На борту подвижного робота регистрируется время от момента излучения до момента совпадения в рабочем пространстве направленных диаграмм приемника и передатчика. Информация используется для дальнейших действий робота на местности.

Лекция 8 Средства передвижения роботов

План:

1. Классификация средств передвижения.
2. Автономные подвижные роботы с дистанционным управлением.
3. Шагающие роботы.

8.1 Классификация средств передвижения

Ноги, колеса, гусеницы, монорельсы... С их помощью робот перемещается в пространстве на значительные расстояния.

Выбор способа перемещения связан с характером решаемой задачи. В практике робототехники достаточно широко применяются подвесные порталные роботы (рис. 8.1). Они имеют манипулятор 1, который закреплен на специальном порталном устройстве 2. Питание электроэнергией и связь с управляющей ЭВМ осуществляется по стационарному шинопроводу.

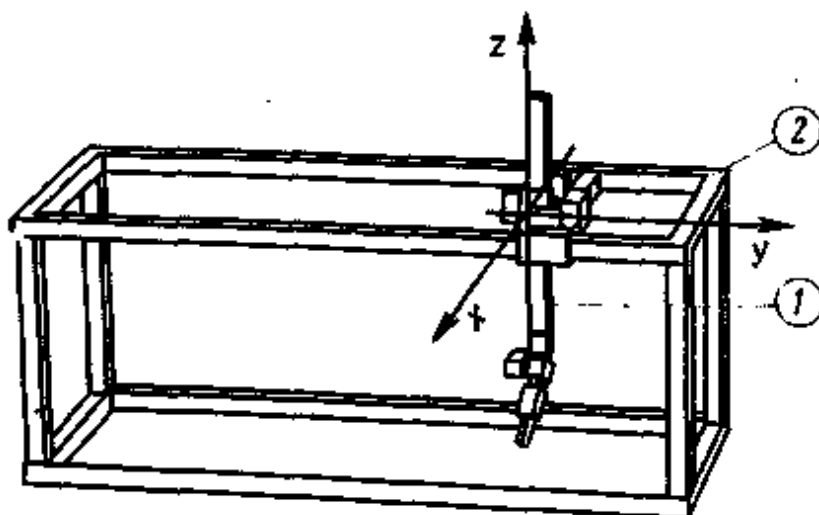


Рис. 8.1

Главным преимуществом порталных роботов является возможность выноса грузопотоков в верхний, как правило не занятый объем цехового помещения. При этом происходит освобождение дополнительных рабочих площадей для установки станков с числовым программным управлением, пристаночных роботов, накопительных устройств. Существенным преимуществом также можно считать возможность повышения скорости перемещения грузов, организацию движения в нескольких уровнях. Применение порталных роботов позволяет также устанавливать накопители с деталями, минуя роботоперегрузчик.

Приведем типичные характеристики порталных роботов: грузоподъемность 10—250 кг; диапазон перемещений по вертикали 1,5—3,0 м, по горизонтали — 100—250 м; скорость движения по горизонтали 0,5—0,8 м/с, по вертикали 0,2—0,5 м/с; число адресов — 64; роботов в системе — 3; точность позиционирования ± 3 —15 мм; потребляемая мощность 0,1 — 1,5 кВт. Общение манипуляторов с ЭВМ происходит со скоростью передачи информации порядка 7000—8000 бит/с.

Для того чтобы при движении не возникло столкновений, ЭВМ осуществляет согласованное движение манипуляторов по монорельсовому пути, а контролирует их перемещение оператор. Рабочий режим управления — диалоговый, в особых случаях допускается ручной.

Использование порталных роботов позволяет уменьшить трудозатраты на погрузочно-разгрузочных работах, повысить ритмичность производства, увеличить коэффициент сменности оборудования. Наибольшее применение они нашли там, где не требуется перестановки оборудования. Подвесные роботы имеют и ряд недостатков: жесткость трассы, сложность ее перестановки, необходимость привязки к обслуживаемым рабочим местам, ограниченную грузоподъемность, зависимость расстановки оборудования от расположения монорельсового пути, усложнение работы мостовых кранов в зоне работы роботов, массивность (3—4 т) монорельсовой конструкции, предъявление дополнительных требований к производственным зданиям.

Напольные транспортные подвижные роботы можно встретить в цехах автоматизированных заводов, где оборудование достаточно часто обновляется, а номенклатура изделий велика. Они транспортируют готовые изделия, подают инструменты, заготовки со склада, перевозят отходы производства, например стружку. Так как эти устройства работают на поверхности цеха, то для них важен выбор направления движения. Они должны плавно огибать препятствия, не запутаться в лабиринте технологического оборудования, прибыть своевременно на требуемую технологическую позицию. В качестве ориентира для системы обеспечения движения используют перемещение по контрольной полосе, специальному кабелю, гироскопическому курсоуказателю, по данным навигационной системы. В первом случае контрольная полоса, выполненная из контрастного материала, служит той «нитью Ариадны», вдоль которой движется робот к объекту. Использование кабеля позволяет применять простые индуктивные датчики, которые вырабатывают электрические сигналы, пропорциональные отклонению продольной оси напольного робота от требуемой траектории движения. В навигационной системе источником полезной информации о направлении движения являются специальные оптические, лазерные или некоторые другие маяки. В системах с гироскопом основным измерительным элементом служит прибор-гироскоп, который работает аналогично детскому волчку: маховик вращается с большой скоростью, а положение измерительной оси прибора при различных перемещениях робота остается неизменным в течение всего времени движения. Ось гироскопа — это тот ориентир, относительно которого осуществляется перемещение робота по цеху. Гироскопический курсоуказатель позволяет на определенных так называемых реперных точках выбирать возникшие отклонения от желаемой траектории за счет проскальзывания элементов шасси и неровностей пола.

Основные преимущества напольных роботов — универсальность и гибкость, возможность обслуживания большого числа оборудования с различной часто сменяемой планировкой, простота изменения трасс при перестановке оборудования, широкий набор выполняемых транспортных операций; недостатки — высокие требования к полу цеха (уклоны не более 1° , отсутствие впадин и загрязнений, изменяющих сцепление колес с поверхностью); при транспортировке грузов на значительные расстояния каждый робот должен иметь автономный источник питания; по сравнению с порталным обладает меньшей точностью выхода к точке позиционирования.

8.2 Автономные подвижные роботы с дистанционным управлением

Примером исследовательского автономного подвижного робота является «Луноход-1» на колесных шасси. Восемь колес робота смонтированы попарно, с независимой амортизацией, причем каждым колесом управляет отдельный двигатель. Робот представляет собой достаточно массивную конструкцию (750 кг), для исключения опрокидывания его длина и ширина выбраны примерно одинаковыми, чуть превышающими два метра, а высота составляет 140 см. Большой диаметр колес (50 см), широкая колесная база (170 см) и колея (160

см) обеспечивают высокую проходимость аппарата. Источник энергии для движения — солнечные батареи и аккумуляторы, которым требуется постоянная подзарядка. Следствием этого является периодический режим перемещения по поверхности Луны. Управление «Луноходом-1» осуществлялось на основании информации от телевизионных камер операторами, находящимися на Земле.

Пример автономной тележки с дистанционным управлением лабораторного типа показан на рис. 8.2. Разработанное программное обеспечение позволяет на основе использования информации от телевизионной камеры осуществлять автономное движение и огибание препятствий. Следует отметить, что особо быстрой реакции на появляющиеся предметы робот не проявляет. Движение его неравномерно — после прохождения пути длиной всего в один метр он останавливается и в течение 10—15 мин анализирует изображение и планирует маршрут дальнейшего движения. Затем перемещение вновь возобновляется. Основные сложности связаны с обработкой информации. При полностью автономном движении сложность возникает в связи с необходимостью быстрого распознавания целого ряда объектов в реальном масштабе времени, выработки команд управления, на основе которых происходит выбор ориентиров для движения. Такая система является достаточно сложной, ее реализация к настоящему времени в полном объеме не проведена.

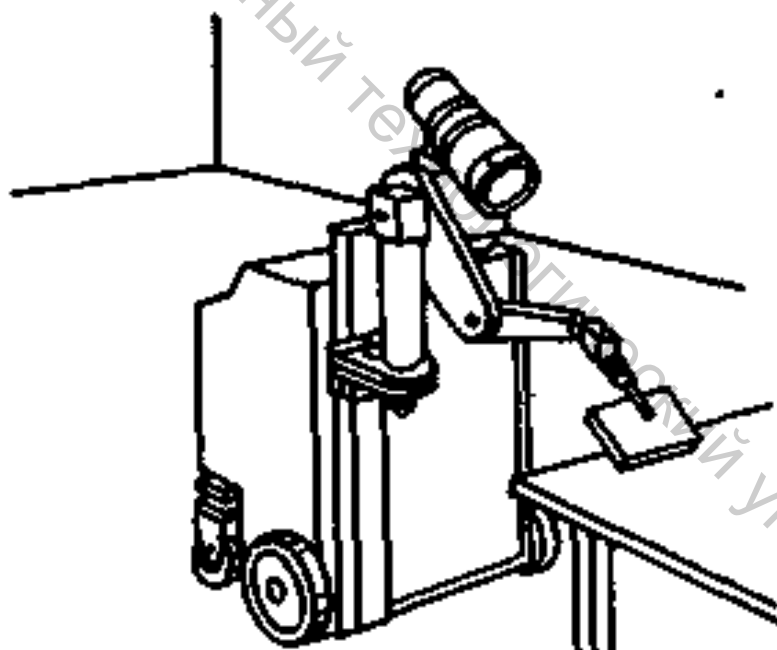


Рис. 8.2

Альтернативным вариантом получения информации для движения мог бы стать отказ от системы телевизионного зрения и замена его лазерным дальномером в сочетании с измерителем угла поворота вала, установленного на оси ведущего колеса механизма перемещения. При этом ЭВМ освобождается от решения задач по распознаванию изображения и сможет сосредоточиться на согласовании и сопоставлении информации от датчиков с заданной ранее траекторией движения, которая заложена в программу. Привязка к программно за-

писанной траектории осуществляется при помощи специального прибора — курвиметра. При появлении неожиданного препятствия на пути робот в соответствии с выработанной стратегией огибает его. Создавать полную модель трассы достаточно сложно и практически не нужно. Для уменьшения времени, затрачиваемого на расчеты, необходимо систему управления строить по иерархическому принципу, с разбивкой решения параллельных задач на каждом уровне.

8.3 Шагающие роботы

Шагающие машины необходимы в промышленности и сельском хозяйстве, везде, где есть трудно проходимая поверхность, например лестницы, лесные завалы, сильнопересеченная местность и др. Они могут выбирать точки опоры, уменьшать крен, перешагивать через препятствие, двигаясь со скоростью до 10 км/ч. Несмотря на эти преимущества, у подавляющего большинства современных роботов используется в качестве исполнительного органа колесо, которое, находясь под нагрузкой, постоянно меняет точку опоры. Подвижные носители, у которых рабочий орган периодически отрывается от поверхности, распространены гораздо меньше. Причины заключаются в том, что механической ноге необходимо изменить точку опоры, одновременно освобождаясь от нагрузки, и осуществлять взаимодействие с другой ногой.

Рассмотрим особенности ползающих машин, имитирующих ползание насекомых. Важным отличием этого вида перемещения от бега, прыгания и двуногой ходьбы является то, что оно не требует поддержания равновесия. В этом случае важно только циклическое чередование двух этапов: постановка стопы на поверхность и перенос ноги при снятии нагрузки. Действительно, насекомым нет необходимости сохранять равновесие, так как они имеют не менее шести ног. Это наименьшее количество, при котором обеспечивается опора на три точки, а три другие ноги — подняты. Отметим, что если бы происходило чередование опоры не на три, а на четыре ноги, машина была бы неуклюжей и малоподвижной, так как при каждом шаге ей пришлось бы дополнительно корректировать положение центра тяжести, чтобы не перевернуться. Центральным вопросом создания таких машин является организация управления движением. Он решается с использованием исполнительных приводов механических ног и управляющей ЭВМ.

Управляющая машина выполняет пять основных задач.

Во-первых, она регулирует «походку» машины, задавая последовательность и характер движения ног, при которых обеспечивается перемещение. *Шестиногие машины* могут передвигаться путем поочередного поднимания одной, двух либо трех ног одновременно. Наиболее простой является регулярно повторяющаяся последовательность движения конечностей. Если пронумеровать все шесть ног ползающей машины, то можно указать последовательность, описывающую ее «походку». Например, одновременную опору на три ноги можно записать так: 1—5—3; 6—4—2, где через точку с запятой разделены ноги, находящиеся в одном положении. «Походка», при которой поднима-

ется большее число ног, обеспечивает большую скорость перемещения и меньшую устойчивость носителя.

Вторая задача, которую решает машина, состоит в исключении ее опрокидывания. Это может произойти тогда, когда проекция центра тяжести носителя сместится за пределы создаваемой «ногами» опорной базы. Поэтому управляющая машина должна постоянно контролировать положение центра тяжести с учетом размещения точек опоры и вырабатывать сигналы, обеспечивающие соответствующие изменения геометрии «ног».

Третья задача, возникающая при управлении ползающей машиной, связана с распределением опорных усилий и боковых нагрузок между ними. Геометрия ног может быть такой, что при движении они будут наталкиваться друг на друга. ЭВМ решает и эту, **четвертую задачу**, позволяющую избежать поломок при движении.

Пятая — связана с выбором таких точек опоры, которые обеспечивали бы машине устойчивость. Наиболее сложно решать ее в условиях пересеченной местности. Механические конечности ползающей машины на шести ногах приводятся в действие с помощью гидравлических двигателей, встроенный микропроцессор управляет движением ног, открывая и закрывая клапаны подачи масла в гидроприводы. Информационные датчики, расположенные в сочленениях ноги, передают информацию о силах, действующих на опорные поверхности, и угловом положении сочленений друг относительно друга. Машина управляется оператором, который задает направление и скорость движения, причем последняя может достигать 4 км/ч. Кроме этих привычных для водителей операций, оператор устанавливает желаемый наклон корпуса и дорожный просвет.

Другим классом машин, способных перемещаться по пересеченной местности, являются прыгающие. Принципы, положенные в основу организации движения подобных устройств, заимствованы у кенгуру и некоторых видов прыгающих собак. Общеизвестно, что австралийские кенгуру способны передвигаться со скоростью, достигающей 65 км/ч. Она, очевидно, является предельной и для механических устройств, но в несколько раз превышает возможности по перемещению ползающих машин. При движении кенгуру расходует чрезвычайно мало энергии, несмотря на то, что длина прыжков достигает пяти с половиной метров. Секрет заключается в следующем: после прыжка происходит натяжение эластичных сухожилий и связок, которые проходят через тело животного. В результате осуществляется накопление энергии, которая высвобождается при следующем прыжке. У других животных и человека этого не происходит, при каждом шаге теряется почти вся энергия и мышцам приходится вырабатывать ее вновь. Почему же используемый кенгуру энергетически экономичный способ движения широко не прижился на практике? Оказывается, что при скорости движения, меньшей 6 км/ч, кенгуру вынуждено перемещаться на четырех лапах, опираясь на хвост, при этом движения животного будут весьма неуклюжими.

В настоящее время создано несколько действующих макетов прыгающих

машин. Рассмотрим принцип работы одной из них (рис. 8.3). Устройство напоминает шест с пружиной, которое управляется специальной ЭВМ. Основные части машины — корпус и «нога». Корпус 3 — это главный узел, в нем установлены клапаны, датчики и электронные устройства. «Нога» имеет простую конструкцию и может не только изменять свою длину вдоль вертикальной оси, но и поворачиваться относительно корпуса с помощью специального рычага с шарниром 9, который получил название «бедра». «Нога» прыгает на пружине с регулируемым натяжением, также как и нога человека с ее упругими мышцами и сухожилиями. Пружинное устройство выполнено в виде пневмоцилиндра 8, давление в нем контролируется датчиками и регулируется клапанами. Внизу находится «стопа». Вращательное движение «ноге» сообщается вторым пневматическим приводом 5, создающим вращающий момент в шарнире «бедра» 4. Момент инерции «ноги» примерно в десять раз меньше, чем корпуса, поэтому в процессе фазы полета «нога» может поворачиваться, не оказывая существенного влияния на движения корпуса. Наклон корпуса измеряется специальным датчиком 7 — гироскопом, информация от которого используется для поддержания корпуса в горизонтальном положении. Кроме этого, производятся измерения угла наклона «бедра» 6, давления воздуха в пружинном устройстве, длины 10 и угла наклона «ноги» относительно поверхности земли 2, ее давления на грунт 1.

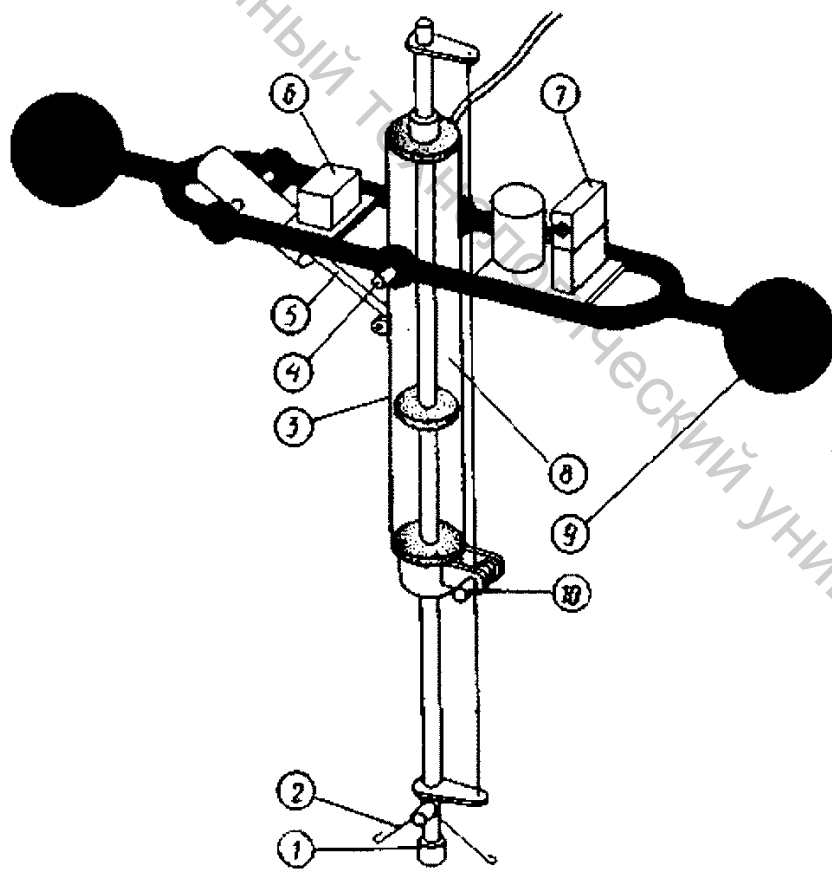


Рис. 8.3

Движением машины управляют три контура управления. Первый — в вертикальной плоскости, второй — равновесием, третий — положением корпу-

са. Управление высотой прыжка производится путем регулирования энергии в приводном механизме по времени и объему. Уравновешивание машины достигается ориентацией «стопы» во время полета в положение, обеспечивающее сбалансированное приземление. При этом учитываются скорость перемещения машины и угол наклона ее корпуса. Во время прыжков на месте «стопа» машины несколько сдвигается, что позволяет скомпенсировать внешние возмущения и погрешности предыдущего прыжка. Для стабилизации и удержания в вертикальном положении корпусу в момент касания поверхности сообщается вращающий момент. Это обеспечивает желаемую ориентацию машины на следующем этапе полета.

Лекция 9 Система управления роботов

План:

1. Классификация уровней управления ПР
2. Классификация управляемых систем

9.1 Классификация уровней управления ПР

Человеческий мозг представляет собой весьма сложную и уникальную систему. Он состоит из 10 млрд. нервных клеток, разветвленность отходящей от мозга нейронной сети в 1500 раз превышает всю существующую телефонную сеть мира, наша память способна запоминать 86 млн. единиц информации. Процесс переработки последней происходит за счет протекания почти 100 000 химических реакций, в результате преобразования входных данных в мозгу вырабатываются нервные импульсы, распространяющиеся между нейронами со скоростью более 100 м/с. Принцип работы мозга человека выяснен не до конца, однако известно, что управление движениями человека происходит за счет выработки импульсных электрических воздействий в коре головного мозга.

Управление роботом осуществляется также с помощью специально организованных воздействий, которые заставляют перемещаться механическую руку со схватом в требуемом направлении и при необходимости останавливаться. Совокупность устройств, выполняющих целенаправленное движение манипуляционного робота, называется системой управления. Задачи, решаемые ею, многообразны, поэтому в составе выделяют несколько уровней, последовательно подчиняющихся друг другу.

Разграничение обязанностей — один из главных законов существования в окружающей нас живой природе. Особенно четко он просматривается у различных насекомых: пчел, муравьев. Среди более высоко организованных животных деление на ранги — также обычное явление. Среди людей не раз предпринимались попытки разбить общество на подчиненные друг другу категории законодательным путем. Вспомним вышедший в 1772 г. указ Петра I о делении его подданных на 14 рангов.

Сколько же уровней подчиненности необходимо для эффективного управления роботом? Вопрос этот далеко не праздный. Представим себе, как должен работать робот. Для него даже выполнение простых операций типа

«взять — перенести — положить» — довольно сложная задача. Как вода во время дождя объединяется в струйки, ручейки, сливается в малые речушки, которые впадают в большие реки, так и огромное количество процессов, происходящих в каждом из многочисленных элементов робота, должно привести к появлению простейших движений, складывающихся в элементарные действия, окончание которых служит сигналом для перехода к новой операции. В этом круговороте физических процессов порядок и последовательность чрезвычайно важны.

У роботов выделяют три уровня управления. Их взаимодействие осуществляется последовательно, по иерархическому принципу. На первом и высшем уровнях система управления манипулятором вырабатывает желаемую траекторию движения конечной точки схвата, называемую номинальной. Если бы эту задачу решал человек, то он бы мысленно выбирал требуемый путь движения рабочего инструмента или перемещаемого предмета. Каждая точка этой траектории может быть задана тремя координатами.

На втором уровне управления осуществляется выработка сигналов для движения каждого звена манипулятора в отдельности. Совокупность полученных сигналов позволяет обеспечить движение схвата по номинальной траектории. При этом фактически производится распределение движений между звеньями манипулятора и степенями его подвижности в определенных последовательности и порядке. Алгоритм распределения в первую очередь зависит от кинематической структуры манипулятора и выполняемого технологического процесса. У человека на этом уровне управления решается вопрос о том, как реализовать номинальную траекторию, организовать в процессе движения взаимодействие между локтевым, плечевым и кистевым суставами руки.

И, наконец, третьим уровнем управления является исполнительный. У человека в действие приводятся мышцы, сокращение которых вызывает непосредственное движение руки. У манипуляционного робота эту задачу выполняют исполнительные приводы.

Техническая реализация задач, решаемых первым уровнем управления, производится в аппаратуре блока управления (рис. 9.1). Задающим воздействием служит разность координат $e(t)$, точки позиционирования $x(t)$ и текущего положения конечной точки схвата $y(t)$. Блок распределения реализует выполнение задач второго уровня, осуществляя разложение номинальной траектории по степеням подвижности манипулятора. В блоке номинальная траектория претерпевает алгебраические преобразования, являющиеся основой для формирования сигналов, которые поступают на исполнительные приводы. Последние перемещают звенья и изменяют конфигурацию манипулятора. Последний служит объектом управления в этой автоматически действующей системе. Здесь же реализуется третий уровень управления.

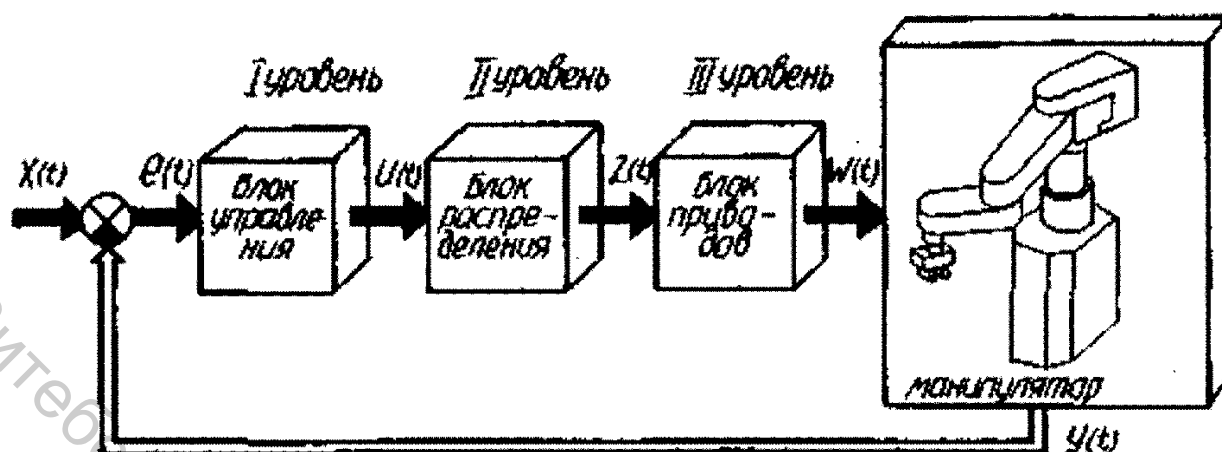


Рис. 9.1

Источник развития и появления разнообразных робототехнических систем управления — несоответствие между усложнением задач, возлагаемых на робототехнический комплекс, и ограниченностью его возможностей, не позволяющих выполнять новые операции старыми техническими приемами и средствами. При этом соблюдается преемственность технических решений, широко используемая и в живой природе. Очевидно, поэтому в основе классификации системы управления роботом лежит принцип усложнения взаимодействия его с окружающей средой.

9.2 Классификация управляемых систем

По степени участия человека в работе всего робототехнического комплекса управляемые системы делят (рис. 9.2) на автоматические и дистанционные. Автоматические же — в свою очередь на программируемые, адаптивные и интеллектуальные.

Программируемые манипуляторы могут переналаживаться в зависимости от возникающих изменений в процессе работы. Для этого необходимо произвести остановку робота и настроить его на выполнение нового задания. В дальнейшем, до новой переналадки манипулятор будет работать по этой неизменной программе. Возможности устройств могут расширяться за счет разработки развитого программного обеспечения. Однако этот подход не всегда эффективен — наступает некоторый предел возможностей роботов. Действительно, даже если необходимая деталь будет отсутствовать на нужном месте, такой робот все равно будет осуществлять транспортные движения, перенося «пустой» воздух. Тем не менее эти программируемые манипуляторы очень широко используются на операциях в цехах заводов, где ритм работы жесткий, а объекты манипулирования не меняют своего положения. Поэтому для эффективного функционирования подобных роботов требуется высокая организованность рабочей среды.

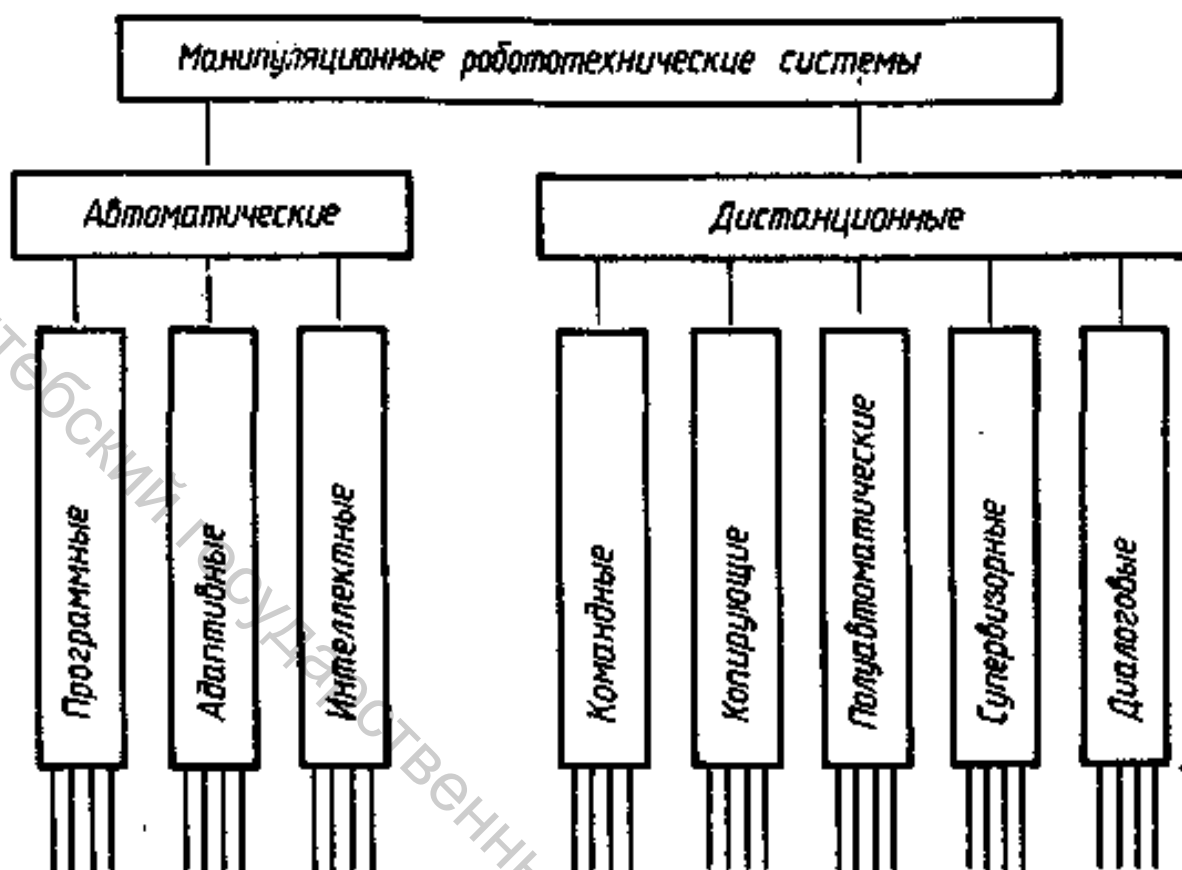


Рис. 9.2

Адаптивные, приспособляющиеся роботы уже могут учитывать изменения в обстановке в процессе непосредственного проведения ими технологических операций. Учет этот, конечно, ограничен определенными рамками и достигается введением специальных систем технического зрения, ряда датчиков, короче говоря, дополняется существенным информационным обеспечением процесса манипулирования. В настоящее время такие роботы используются там, где необходимо произвести особо тонкую, требующую высокой точности операцию, например сборку нескольких деталей в узел, установку лобового стекла при сборке автомобилей, захват неориентированных деталей на конвейере. В будущем ожидается, что они будут составлять почти половину парка промышленных роботов.

Интеллектуальные роботы еще находятся на стадии разработки и исследования. Они способны воспринимать задания на выполнение производственных процессов в достаточно общей форме, а затем, и это очень важно, самостоятельно планировать свои действия, ставя перед собой ряд последовательно достигаемых с помощью манипуляций целей. Для них характерна работа с учетом изменяющейся обстановки. Область использования — агрессивная для человека среда, недоступные зоны (морские глубины, шахты, космос). Так как устройства наделены элементами искусственного интеллекта, последовательность их действий напоминает поведение человека. Вначале происходит усвоение задания, затем его анализ, осмысливание и выполнение.

Роботы — достаточно сложные устройства, поэтому даже в рамках одного рода возможно появление дополнительных признаков классификации. Так, программируемые роботы в соответствии с принципами автоматического управления подразделяются на регулируемые по разомкнутому и замкнутому циклам. Манипулятор робота управляется целым рядом взаимодействующих автоматических систем. Каждая из них поддерживает определенное значение некоторой физической величины, например углового или линейного положения данного звена.

Энергия, необходимая для изменения выходного сигнала, потребляется от источников питания. При управлении по разомкнутому циклу информация об изменении выходной координаты звена не используется. Существует три основных причины применения замкнутого цикла управления, или регулирования с обратной связью. Во-первых, точное управление по разомкнутому циклу многозвенной механической рукой оказывается не всегда возможным, во-вторых, при использовании принципа обратной связи задающее воздействие сравнивается с результатами управления. При этом нестабильность работы отдельных устройств системы управления, неточности изготовления компенсируются вырабатываемым сигналом рассогласования. В-третьих, за счет использования принципа обратной связи можно уменьшить влияние возмущающих воздействий на систему и, следовательно, избежать применения многочисленных компенсирующих устройств, необходимых при управлении по разомкнутому циклу. У большинства современных роботов управление осуществляется по замкнутому циклу.

Для манипуляционных роботов важным оказывается и принцип управления при движении по номинальной траектории. Выделяют цикловые, позиционные и контурные системы управления. Для простейших роботов типа МП-11 приемлема *цикловая система управления*.

Робот осуществляет несложные вспомогательные операции (до 10 движений), например, перемещает заготовки для штамповки. Питание — от пневмосети, сжатый воздух подается к пневмоэлектроклапанам через узел подготовки воздуха. Специальные устройства — дроссели — позволяют изменять скорость движения звеньев робота. Величина рабочего хода звена по каждой степени подвижности регулируется с помощью конечных упоров, последовательность и число движений устанавливается в соответствии с кинематической структурой технологического процесса путем набора программы на штекерной панели системы управления.

Роботы с *позиционным управлением* работают аналогично, однако их положение задается программным путем. Так как информация о точках позиционирования хранится в памяти запоминающего устройства, число этих точек может быть достаточно большим (до 100 движений механической руки). Положение звеньев манипулятора определяется с помощью точного кодового или потенциометрического датчика.

Роботы с цикловой и позиционными системами управления перемещают схват манипулятора от одной точки к другой, т. е. дискретно. Однако при вы-

полнении более сложных операций (сварка шва, окраска) этого оказывается недостаточно. Необходимо непрерывное плавное согласованное перемещение всех звеньев вдоль номинальной траектории. Существует два способа построения контурных систем управления. В первом случае вся траектория движения каждого звена непрерывна, записывается и хранится на магнитной ленте или диске; во втором — информация о траектории задается только конечным числом опорных (узловых) точек. Непрерывная траектория между этими точками формируется после выполнения специальных вычислений методом интерполяции. Это позволяет резко сократить объем памяти системы управления, но требует ввода дополнительного устройства, реализуемого на базе микропроцессора. Запоминание узловых точек осуществляется в больших интегральных схемах. Главное преимущество второго подхода — высокая надежность хранения информации в статической памяти.

Среди *дистанционно-управляемых роботов* можно выделить управляемые манипуляторы (командные, копирующие, полуавтоматические), супервизорные и диалоговые. При командном управлении манипулятором оператор, попеременно нажимая кнопки или переключатели, изменяет конфигурацию механической руки, решая при этом задачи первого и второго уровней управления; при *копирующем* — в руках оператора имеется задающий манипулятору движения рабочий орган, по своей кинематической структуре подобный самому манипулятору (см. рис. 3.7). В этом случае человек решает задачи первого уровня управления, а задачи двух других выполняются автоматически. Точность проведения операций манипулирования может быть весьма высокой, например оператор при помощи манипулятора с копирующим управлением может продеть нитку через ушко иглки. Порядок манипулирования при этом предполагает и передачу оператору дополнительной информации от специальных датчиков о силах и моментах, действующих на объект манипулирования. Копирующие манипуляторы применяются для переноса колб с ядовитыми веществами, радиоактивных препаратов, других предметов, контакт с которыми для человека не желателен. В полуавтоматических системах движение исполнительным приводам задается специальной рукояткой, имеющей несколько степеней подвижности. Для различных конструкций число этих степеней колеблется от трех до шести (рис. 9.3). Геометрические размеры рукоятки выбираются с учетом особенностей кинематической структуры руки человека. Подвижность рукоятки является наибольшей при ее перемещениях в пределах области, ограниченной размерами по высоте, — 50—150 мм, вперед-назад — 250—400, влево-вправо — 50—150 мм. В диапазоне длин рукоятки от 0 до 100 мм углы ее поворота максимальны, а при дальнейшем увеличении линейных размеров начинают уменьшаться. Использование многостепенных рукояток позволяет частично разгрузить оператора, возложив часть функций, связанных с выработкой движения по номинальной траектории, на автоматику. Характерной особенностью этих систем является необходимость выполнения оператором постоянных движений.

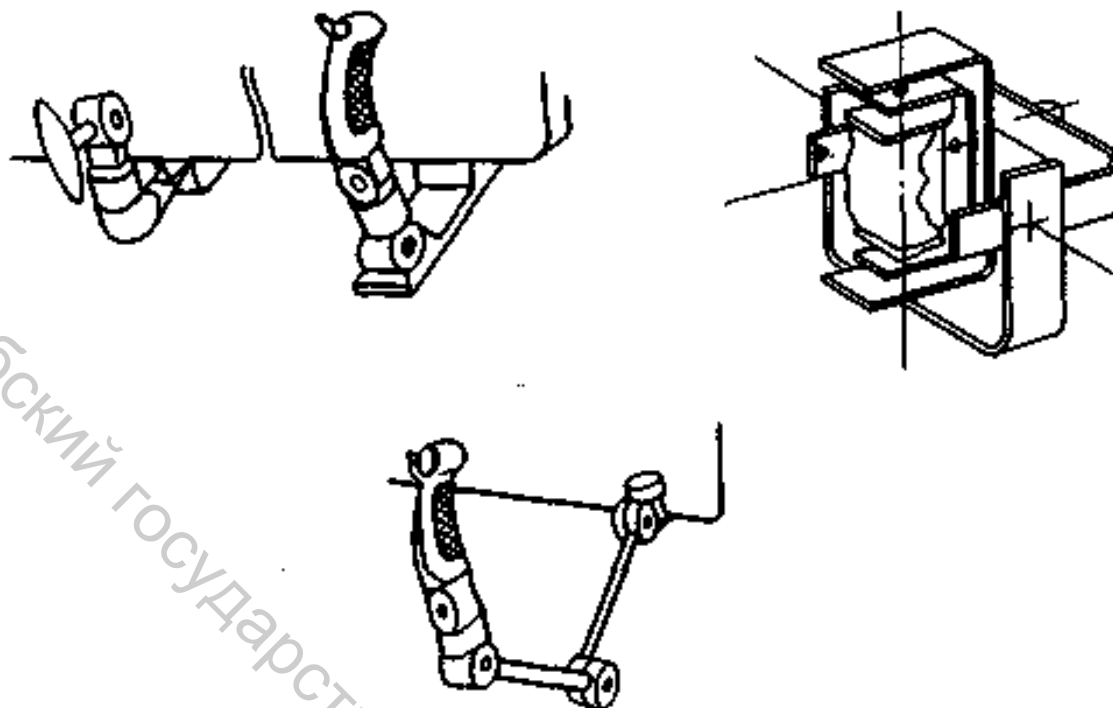


Рис. 9.3

Более совершенны роботы с *диалоговым* и *супервизорным* управлениями (см. рис. 9.1). Оператор контролирует работу и принимает решение только в экстремальных ситуациях. В супервизорных системах он задает команды на выполнение отдельных действий: «взять», «перенести», «окрасить». В диалоговом режиме управления робот анализирует и ход технологического процесса, причем предлагает (подсказывает) оператору свои решения.

На начальном этапе создания и эксплуатации роботов в основном использовались простые программаторы движения. Главные их элементы — кулачковые механизмы и штекерные панели. Широкое применение микропроцессоров в мощных центральных вычислительных машинах позволило реализовать принцип распределенного управления, при котором микропроцессор входит в состав исполнительного привода, мини-ЭВМ управляет механической рукой робота, а мощная ЭВМ руководит работой большого числа роботов и различного оборудования. Сигналы выдаются с некоторым интервалом, который зависит от кинематики робота, характеристик механической системы, системы управления и требуемой точности. Для современных роботов, имеющих относительную точность порядка 0,1 % (1 мм в рабочем пространстве размером 1 м), интервал управления составляет 1—20 мс. Это объясняется тем, что современная элементная база робототехники ограничена микроЭВМ с памятью 28—64К слова и быстродействием 200—500 тыс. оп/с.

С одной стороны, частоту управляющих сигналов желательно увеличивать, так как при этом возрастает плавность и точность движений. С другой стороны, требуется определенное время для планирования операций обработки сигналов, поступающих от датчиков, для выработки номинальной траектории.

Объем вычислений (в зависимости от внешних факторов) может значительно превышать имеющиеся возможности.

Прогнозируя направления развития роботов, необходимо отметить существование проблем в каждой из его подсистем, поэтому усовершенствования коснутся всех элементов. Совершеннее станет программное обеспечение роботов. Для этого необходимо разработать более эффективные методы управления многозвенными конструкциями с большим числом степеней подвижности, нелинейными приводами и логическими схемами со множеством переменных, создать единый универсальный язык, обеспечивающий высокий уровень технологичности программирования.

В будущем будут использоваться датчики широкой номенклатуры. В зависимости от ситуации они станут применяться по-разному, в неодинаковых меняющихся комбинациях. Очевидно, для общего обзора пространства в большинстве случаев будут использоваться телевизионные камеры. При решении задач непосредственного манипулирования найдут применение многосенсорные информационные системы, включающие тактильные, силомоментные и локационные датчики. Однако эти устройства должны стать более дешевыми и легкими.

Механические руки станут более легкими и совершенными. Для их изготовления будут широко использоваться графитовые волокна, алюминиевые сплавы, другие сверхлегкие материалы. Схваты роботов обретут гибкость. Вся работа робототехнического комплекса станет более надежной.

Литература

1. Джалилов, А. Х. Основные направления развития и использования средств робототехники в кожевенно-обувной промышленности / А. Х. Джалилов, В. В. Зайцев. – Москва, 1983. – 60 с.
2. Робототехника и гибкие автоматизированные производства : учеб. пособие для втузов. В 9 кн. Кн. 9. Лабораторный практикум по робототехнике / под ред. И. М. Макарова. – Москва : Высш. школа, 1986. – 176 с.
3. Методические указания для выполнения лабораторных работ по курсу "Автоматизация средств механизации и робототехника" для студентов спец. Т. 11.03 – Автоматизация технологических процессов и производств / ВГТУ ; сост. Д. В. Смелков. – Витебск, 1999. – 39 с. : рис.
4. Пучков, А. А. Практикум по токарным робототехнологическим комплексам : учеб. пособие для вузов / А. А. Пучков. – Минск : Выш. школа, 1992. – 168 с. : ил.
5. Робототехника и гибкие автоматизированные производства : учеб. пособие для втузов. В 9 кн. Кн. 3. Управление робототехническими системами и гибкими автоматизированными производствами / под ред. И. М. Макарова. – Москва : Высш. школа, 1986. – 159 с.
6. Робототехника и гибкие автоматизированные производства : учеб. пособие для втузов. В 9 кн. Кн. 4. Вычислительная техника в робототехнических системах и гибких автоматизированных производствах / под ред. И. М. Макарова. – Москва ; Высш. школа, 1986. – 144 с.
7. Робототехника и гибкие автоматизированные производства : учеб. пособие для втузов. В 9 кн. Кн. 6. Техническая имитация интеллекта / под ред. И. М. Макарова. – Москва : Высш. школа, 1986. – 144 с.
8. Робототехника и гибкие автоматизированные производства : учеб. пособие для втузов. В 9 кн. Кн. 7. Гибкие автоматизированные производства в отраслях промышленности / под ред. И. М. Макарова. – Москва : Высш. школа, 1986. – 176 с.
9. Овсянников, А. Ш. Основы гибкой автоматизированной технологии / А. Ш. Овсянников. – Иркутск : Изд-во Иркутского ун-та, 1986. – 144 с.
10. Петров, А. А. Англо-русский словарь по робототехнике = English-russian dictionary of robotics : около 12 000 терминов / А. А. Петров, Е. К. Масловский. – Москва : Рус. яз., 1989. – 494 с. – Указ. рус. терминов.

Учебное издание

Амирханов Джаффар Рифкатович
Бувеч Артур Эдуардович

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Конспект лекций

Редактор А.В.Радкевич
Технический редактор И.А.Данилова
Корректор Е.М.Богачева
Компьютерная верстка И.А.Данилова

Подписано в печать _____ 2010г. Формат _____. Бумага офсетная.
Печать ризографическая. Гарнитура «Таймс». Усл.печ.л. _____. Уч.-изд.л. _____.
Тираж _____ экз. Заказ _____.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет» 210035, Витебск, Московский проспект, 72

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»
Лицензия № 02330/0494384 от 16.03.2009 г.