

**К.С. ШОЛАНОВ**

# **ОСНОВЫ МЕХАТРОНИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ**

**Учебник**

**Рекомендовано Министерством образования и науки  
Республики Казахстан  
в качестве учебника для студентов  
технических специальностей вузов Казахстана**

Алматы  
2015

УДК 007.52 (075.8)  
ББК 32.816я73  
Ш 78

*Учебник является победителем республиканского конкурса на разработку и издание учебников и учебно – методической литературы и перевод учебников на государственный язык для высших учебных заведений.*

Рецензенты: Туманбаева Кумысай Хасеновна - к.т.н., доцент кафедры автоматической связи АИЭС

### **Ш 78 Шоланов К.С.**

**Основы мехатроники и робототехники** - Учебник для студентов технических специальностей вузов Казахстана. Алматы: издательство «ЭВЕРО», 2015. - 126с.

ISBN 978-601-7816-38-4

Учебник знакомит с историей развития Робототехники и Мехатроники, с основными принципами построения и применения робототехнических и мехатронных систем, а также с основными сведениями из области Мехатроники и Робототехники. Формирует начальные и основополагающие знания по Мехатронике и Робототехнике, необходимые для профессиональной ориентации и понимания нового научного направления - Мехатроники, включенного ЮНЕСКО в первую десятку приоритетных направлений науки и техники.

Рассмотрена типичная структура и составные модули мехатронных систем. Изложены начальные сведения по аналитическому - программному обеспечению и аппаратной части управляющих комплексов. Рассмотрены информационно-измерительная и коммуникационная система, а также исполнительные устройства в виде мехатронных модулей движения.

Предлагаемый в книге материал необходим для последующего изучения специальных дисциплин, формирующих непосредственные профессиональные знания по Мехатронике и Робототехнике.

Учебное пособие предназначено для студентов и магистров, обучающихся по специальностям «Мехатроника и робототехника», «Приборостроение». «Автоматизация и управление» и другим специальностям, связанным с применением мехатронной техники и роботов.

Представляет интерес для научно-технических работников.

УДК 007.52 (075.8)  
ББК 32.816я73

ISBN 978-601-7816-38-4

© Шоланов К.С., 2015  
© Эверо, 2015.

В настоящее время имеется различная литература зарубежных изданий так или иначе представляющие вводный курс по тематикам, связанным с Мехатроникой и Робототехникой [1-5].

Обобщая содержания этих работ, а также другой технической литературы по Мехатронике и Робототехнике, автор пришел к выводу о том, что сейчас особо актуальными являются вопросы дальнейшей популяризации знаний в этой области. Тем более, что в условиях бурного развития Мехатроники и Робототехники и связанных с ним отраслей науки и производства появились новые технические решения и научные приложения, которые требуют систематизации и понимания во взаимосвязи с существующими до этого результатами и достижениями.

В этой связи в предлагаемой книге ставилась основная цель дать фундаментальные знания необходимые для:

- ориентирования читателя в многочисленной литературе по Мехатронике и Робототехнике;
- подготовки к дальнейшему углубленному изучению выбранного направления;
- расширения кругозора по ряду смежных к Мехатронике и Робототехнике научных направлений.

Технические средства, в которых движение управляется с помощью средств микроэлектроники можно отнести к кибернетическими устройствам и машинам. С другой стороны теоретической базой для проектирования и эксплуатации этих технических средств является аппарат Мехатроники. Поэтому кибернетические устройства и машины можно назвать мехатронной техникой. Существует множество различных мехатронных объектов и описать их в объеме одной книги невозможно. По этой причине автор посчитал целесообразным вести изложение стремясь охватить наиболее общие свойства и функции характерные для мехатронных объектов.

Очевидно то, что роботы являются также одним из типичных объектов Мехатроники, которым присущи все особенности мехатронной техники. По этой причине решение разных задач Мехатроники можно наглядно проиллюстрировать на примере любых роботов. Возможно, следовало бы назвать книгу просто «Основы мехатроники». Однако следует отметить, что до появления Мехатроники, Робототехника уже вполне сформировалось как отдельное научное направление. Сейчас наблюдается слияние и взаимное внедрение этих двух направлений наук. По этой причине книга названа «Основы мехатроники и робототехники».

В основу учебного пособия положен лекционный курс по «Основам Мехатроники и Робототехники», прочитанный автором в Казахском национальном техническом университете им К.И. Сатпаева для студентов специальности Приборостроение.

Изучение учебного пособия предполагает наличие у студентов знаний по Информатике, Теоретической механике, Высшей математике, Электронике. Однако многое из содержания учебного пособия можно понять и без основополагающих знаний, т.к. автор намеренно избегал подробных скрупулезных объяснений и сложных математических выкладок.

Автор надеется, что настоящее учебное пособие окажется полезным студентам при самостоятельном обучении для получения степени Бакалавра и Магистра по специальностям Приборостроение, Автоматизация и управление, Мехатроника и робототехника.

*Автор*

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из характерных отличительных черт современного уровня технического прогресса является то, что во многих сферах деятельности человека применяется техника, управляемая с помощью средств электроники и микроэлектроники. Окружение "умных" кибернетических машин стало сейчас само собой подразумевающейся повседневностью. Действительно, привычными стали в быту кухонный комбайн, посудомоечная и стиральная машина, работающие по заданной программе. Дети играют с дистанционно управляемыми игрушками, имеющими возможность выполнять различные занимательные функции.

Электронные средства для управления широко используются в транспортных машинах, например, в автомобилях, самолетах, поездах и грузоподъемных лифтах. Без электронных устройств управления движением трудно представить современные технологические машины, такие как станки, краны, промышленные роботы, а также энергетические машины, к которым относятся турбины, двигатели внутреннего сгорания, электродвигатели. Не только на транспорте и в производстве, но и в космосе и под водой, в медицине и спорте, в рекламе и в качестве оргтехники - везде используются кибернетические устройства и машины, имеющие для выполнения заданных функций, определенные свойства интеллекта благодаря встроенной электронной и микроэлектронной аппаратуре и компьютерного (микропроцессорного) управления.

Приведенные выше технические устройства имеют в своем составе мехатронные системы или являются непосредственно мехатронными устройствами.

*Таким образом, мехатронными устройствами являются технические системы, в которых для успешного выполнения предназначенных функций движения используются интегрированные средства микроэлектроники.*

*Наука, занимающаяся анализом и синтезом мехатронных устройств, называется мехатроникой.*

Мехатроника представляет совокупность двух научно-технических направлений. Как легко заметить, термин МЕХАТРОНИКА происходит от названий этих направлений: МЕХАника и элекТРОНИКА. Основные идеи мехатроники начали формироваться по мере того, как в состав обычных технических систем стали входить электронные устройства. После того, как в 1984 г. японское общество инженеров-механиков выпустило семи томное издание, посвященное мехатронике, можно сказать, что мехатроника утвердилась как научное направление.

Исторически сложилось так, что появлению мехатроники в немалой степени способствовало развитие робототехники.

*Робототехника - это научное направление, объектом исследования которого являются роботы.*

Впервые слово "РОБОТ" появилось в пьесе чешского писателя Карела Чапека в 1920 г. В пьесе робот представлял человекоподобную (антропоморфную) машину. Само слово "робот" возникло от слова работа, по-чешски. Потребовалось значительное время, чтобы перейти от фантазий к действительности, т.е. от литературных персонажей и человекоподобных игрушек до существующих сейчас роботов. Сравнивая различные определения, данные для понятия «робот» разными авторами, можно обнаружить, что приведенное ниже определение известного японского ученого Э.Накано является наиболее соответствующим действительности.

*Робот-это механическое устройство, способное при помощи своих органов чувств и разума выполнять какую-либо работу и имеющий внешнее или функциональное сходство с человеком или некоторыми другими живыми существами.*

Одним из разновидностей роботов, как указывалось, являются промышленные роботы (ПР).

*Причем под промышленным роботом понимается автоматическая машина, стационарная или передвижная, имеющая несколько степеней подвижности, и перепрограммируемое устройство программного управления для выполнения в производственном процессе некоторых функции человека.*

Перепрограммирование в ПР достигается автоматически (в более совершенных роботах) или при помощи человека-оператора.

Роботы представляют технические системы, имеющие в своем составе электронные средства. Поэтому роботы относятся к типичным мехатронным устройствам. Робототехника является самостоятельным разделом науки посвященной конкретно роботам. Так, как Робототехника как научное направление сформировалась ранее чем Мехатроника, то можно сказать, что Мехатроника начинается с Робототехники.

# ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РОБОТОТЕХНИКИ И МЕХАТРОНИКИ

## 1.1. Условия становления и развития робототехники

Возникновение и развитие любой отрасли науки и техники, представляет сложный процесс, протекающий в определенном временном интервале, во взаимной связи и в зависимости от других объективных и субъективных причин и обстоятельств. В некоторых случаях то или иное техническое средство появляется раньше и создает предпосылки для развития конкретного научного направления связанного с этой техникой. В других случаях, благодаря накопленным научным знаниям, удается создать новый вид техники или совершенствовать существующую технику. История становления и развития робототехники, мехатроники, а также процесс появления и совершенствования роботов и других мехатронных устройств, свидетельствует о сложной причинно-следственной связи в развитии научного направления и создании новой техники. Так, например, вначале были созданы роботы, затем по мере применения роботов сформировалось научное направление - робототехника. Где-то параллельно создавались предпосылки в области научных знаний и в процессе накопления опыта готовились условия для создания в начале примитивных, а затем более сложных мехатронных устройств. Появление обширного класса новых технических систем, имеющих управляющие и информационные системы на базе микроэлектроники, явилось причиной становления и развития научной отрасли Мехатроники. При чем, наконец, Робототехника оказалась одним из научных направлений Мехатроники.

История зарождения и формирования идей создания механических людей подробных роботам берет свое начало с глубокой древности. Первое упоминание о таком человеке - медном великане по имени Талос - датируется III в. до н.э. Известны работы Герона Старшего, жившего в Александрии в I в. и описавшего в своих книгах свыше сотни автоматов, точно копирующих движения человека. Существенное влияние на развитие элементов автоматизации и робототехники оказало появление и совершенствование часов. Основу различных автоматов составляли в основном сложные механизмы. Новый импульс в развитии технических средств автоматизации и разработки принципов их действия, дало открытие в XIX в и практическое применение электричества. Достижениями в естественных и прикладных областях науки к началу XX в. была создана необходимая техническая и научная база для воплощения многовековой мечты человечества - создание устройств, заменяющих человека в процессе труда, т.е. роботов.

В 1927 году, американский инженер Дж. Венсли сконструировал первый робот под названием "Televox". Этот робот имел внешнее сходство с человеком и мог по команде выполнять элементарные движения. В 1928 г. в Японии был

создан первый робот названный "Естествоиспытатель". Этот робот мог менять положение рук и головы с помощью электродвигателей.

От первых примитивных роботов до существующих в настоящее время интеллектуальных роботов таков путь, пройденный робототехникой. Причем всему этому предшествовало бурное развитие вычислительной техники и электроники, а также появление первых кибернетических машин - станков с числовым программным управлением. Действительно вышедшая в 1951 г. в свет работа Дж. Фон Неймана "Общая и логическая теория кибернетических автоматов" дала скачок в развитии вычислительной техники. После этого стала бурно развиваться технология проектирования и изготовления электронных вычислительных машин (ЭВМ). За короткий период времени сменилось несколько поколений ЭВМ. Основу 1-го поколения ЭВМ составляли электронно-вакуумные лампы, 2-го поколения - транзисторы, 3-го поколения интегральные схемы. Элементной базой 4-го поколения стали сверхбольшие интегральные схемы (СБИС), а основу ныне существующих персональных компьютеров (РС) и контроллеров составляют микропроцессоры и микропроцессорные наборы.

Микропроцессоры - это миниатюрные вычислительные устройства, которыми оснащены сейчас не только роботы, но и всевозможные станки, системы управления транспортом, множество других устройств, приборов вплоть до бытовой техники и игрушек.

Как указывалось выше, развитию робототехники, а именно системы управления роботом, способствовало появление станков с числовым программным управлением. Если вернуться к истории, то идея автоматизации производства возникла в начале XX века, когда, в 1907 г., была создана автоматическая линия на заводе Форда. Но первый металлообрабатывающий станок с числовым программным управлением (ЧПУ) был создан в 1952 г. Этот принцип управления был применен в дальнейшем и для роботов.

И все же так современная робототехника берет начало с 1954 г. когда в США под руководством Р. Герца был создан манипулятор для обслуживания атомных станций. Этот манипулятор названный ANL Model-1 был создан в Арагонском национальном лаборатории (по английскому сокращению ANL). Первые роботы имеют консольную конструкцию и создаются по подобию руки человека. Хотя рука человека по утверждению антропологов имеет 27 подвижностей, роботы имеют меньшую подвижность, так как в противном случае резко усложняется их конструкция и возникают проблемы с управлением.

Массовое применение роботов связано с созданием промышленных роботов. Промышленные роботы, являясь одной из разновидностей роботов, представляют механические устройства выполняющие по заданной программе автоматически некоторые функции руки. Распространение ПР началось с 1962г. с создания роботов "Unimate" и "Wersatran". Эти роботы предназначались для обслуживания таких технологических процессов как литье под давлением, ковка, точечная сварка: нанесения покрытий и др. Первый



опытный образец робота на территории СНГ был создан в 1971 г. под руководством П.Н. Белянина и Б.Ш. Розина и назывался УМ-1. Это был промышленный робот с гидроприводом, имевший грузоподъемность 40 кг. Робот УМ-1 имел позиционную аналогово-трансформаторную систему программного управления. В период с 1970 -1985 г.г. наблюдался некоторое оживление в развитии промышленного роботостроения. По оценке специалистов в 1990г. на территории бывшего СССР, потребность роботов должна была составлять 375 тыс. Однако эти прогнозы явно не оправдались, и в настоящее время в СНГ наблюдается некоторая потеря интересов к робототехнике и спад производства ПР. Но наука робототехника продолжает развиваться, а ученые и конструкторы создают новые более совершенные роботы.

Так по данным одного американского журнала роботостроительная отрасль в 1990 г. выполнила заказы на 485 млн. дол. США и получила рекордный заказ на сумму 517 млн. дол. США.

В настоящее время в мире работает около 10 млн. роботов. При этом Япония занимает первое место в мире по плотности роботов в промышленности. Область применения роботов постоянно расширяется. В свою очередь дальнейшее развитие робототехники потребовало включение в интересы этой науки широкого круга вопросов, которые составляют предмет других направлений науки. Так, например, робот в той или иной мере воспроизводит некоторые функции живых существ. По этой причине робототехника занимается построением сложных механических систем. Конкретно говоря, существует раздел робототехники - механика роботов (манипуляторов), занимающаяся анализом и синтезом механизмов и механических устройств применяемых в составе робота.

Созданием искусственных органов чувств занимается раздел робототехники - сенсорная технология.

Результаты и достижения в области информатики и искусственного интеллекта применяются для создания "мозга" робота.

Потребностям производства ориентировано направление робототехники - промышленная робототехника занимающаяся исследованием ПР и их конструированием.

В измерительной технологии выделено направление, занятое созданием систем технического зрения (СТЗ) для роботов.

Теория распознавания образов имеет своей целью создать аппарат для робота, позволяющий ему распознавать предметы окружающей среды.

Чтобы лучше понять функции робота укажем на них, сравнивая с аналогичными функциями человека.

На рисунке 1.1, цифрами отмечены функции робот похожие на человеческие. Эти функции следующие:

- 1-искусственное обоняние;
- 2- искусственный интеллект;
- 3- техническое зрение;

- 4- анализатор речи;
- 5- синтезатор речи;
- 6- искусственные конечности (шагающий аппарат);
- 7-искусственная кисть;
- 8- механические руки (манипулятор).

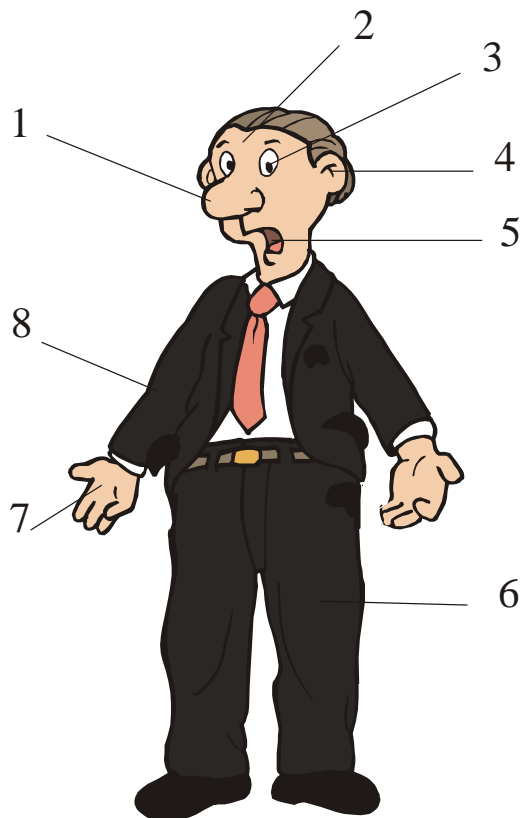


Рис.1.1. Сравнение функциональных возможностей человека и робота

Как это показано на рисунке 1.1. механическая рука называется манипулятором. Поэтому в технической литературе используется термин "Манипуляционный робот". Так называют робот главным назначением которого является воспроизведение функции руки человека. Процесс внедрения ПР в производство называют роботизацией. Те производственные подразделения, в состав которых входят ПР называют роботизированными технологическими системами (РТС). Основной структурной единицей РТС являются роботизированные комплексы (РТК). РТК представляет в определенной степени автономно действующую совокупность средств производства, которые включают один или несколько ПР, которые обеспечивают автоматизированный цикл работы внутри комплекса. Стыкуя между собой различные РТК образуют РТС.

## **1.2. Основные факторы, обусловившие зарождение и развитие мехатроники**

В некотором смысле две отрасли науки "электромеханика" и "мехатроника" подобны в том смысле, что их объектом внимания являются механические системы. Однако существенное различие этих научных отраслей состоит в том, что они отражают различные уровни развития науки и техники.

Термин "электромеханика", объединяющий понятие механики и электротехники, появился в связи с открытием электричества и практическим применением в технике электрических устройств. Например, типичный объект электромеханики, электромеханический преобразователь, представляет устройство преобразующий электрические величины (силу тока, напряжение) в соответствующее механическое перемещение или наоборот. Примером электромеханических устройств являются, например, электродвигатели и генераторы, электроизмерительные приборы со стрелочной шкалой и электромагнитные реле и др.

Современный технический прогресс характеризуется бурным развитием электроники на базе новых материалов и биотехнологии. Именно с развитием электроники и связанной с этим применением микропроцессорной техники, средств обработки информационных сигналов и электронных приборов для преобразования энергии, стало возможным применение мехатронных устройств и появление научной отрасли Мехатроники. Современный уровень электроники характеризуются тем, что достигнута большая плотность упаковки электронной аппаратуры. Применение новых материалов и высоких технологий изготовления электронных схем, а также модульного принципа конструирования электронных схем привели к созданию микроминиатюрных электронных изделий - интегральных схем (ИС), больших (БИС) и сверхбольших интегральных схем (СБИС), а также программируемых интегральных схем- микропроцессоров.

*Наука о проектировании, разработке и применении микроминиатюрных электронных приборов называется микроэлектроникой.*

Благодаря достижениям микроэлектроники сейчас на одном кристалле можно разместить сотни миллионов микроминиатюрных электронных изделий и создать электронную схему, способную выполнять сложные логические и другие операции.

Расширение возможности электронных схем, снижение их веса и стоимости сделали возможным успешно встраивать их в технические системы и тем самым расширить возможности этих технических систем. Таким образом, развитие микроэлектроники сделали возможным зарождение и развитие мехатроники. Применению средств микроэлектроники в мехатронных устройствах способствует и то, что за счет интеграции (повышению плотности упаковки), средства микроэлектроники обладают повышенной стойкостью к воздействиям окружающей среды. Например, электронная аппаратура, размещенная на самолетах, подвергается воздействию электрических шумов,

механических колебаний и широкому диапазону изменения температуры. Мехатронные устройства должны обладать стойкостью и надежностью, а также точностью и быстродействием информационной системы. Тем самым мехатронизация выдвигает новые задачи перед микроэлектроникой. Так, что процесс развития мехатроники и микроэлектроники взаимосвязан и взаимообусловлен.

В становлении Мехатроники определенная роль отводится и развитию робототехники. Именно стремление к совершенствованию роботов и созданию автоматически управляемых и интеллектуальных роботов вызвал необходимость в развитии Мехатроники.

### **1.3. Взаимные связи между Мехатроникой, Робототехникой и другими научными отраслями.**

Как отмечалось ни одно из научных направлений и ни один из объектов техники не появляется на пустом месте. Развитие науки и техники, накопление научных знаний, совершенствование объектов создаваемых человеком связано с постоянным стремлением человека к расширению своих возможностей, освоению и применению законов природы. Сравнение функциональных возможностей искусственного человека - робота, с возможностями созданного природой человека свидетельствует с одной стороны о текущем уровне развития науки и техники, а с другой стороны свидетельствуют о существующих на данном этапе огромных непознанных объемах знаний и наличии неограниченных возможностей по совершенствованию объектов создаваемых человеком.

Являясь одной из отраслей науки, Мехатроника использует достижения, полученные в других отраслях науки и производства. На основе Мехатроники в свою очередь развиваются эти и другие отрасли науки и техники, создаются новые научные направления. На рис. 2.1. представлена схема взаимосвязи Мехатроники, Робототехники, а также других отраслей науки и техники. Из рисунка следует, что Робототехника является научным разделом Мехатроники, в котором объектом исследования являются только роботы. В то время как объектом исследования мехатроники являются помимо роботов множество других мехатронных устройств. В качестве пояснения следует отметить, что системотехника - это научно-техническая отрасль охватывающая вопросы проектирования, создания, испытания и эксплуатации сложных систем. Также следует отметить, что для упрощения схемы на рис. 2.1. показаны влияния различных направлений науки и техники только на мехатронику и робототехнику и не показаны другие имеющиеся внутренние связи.

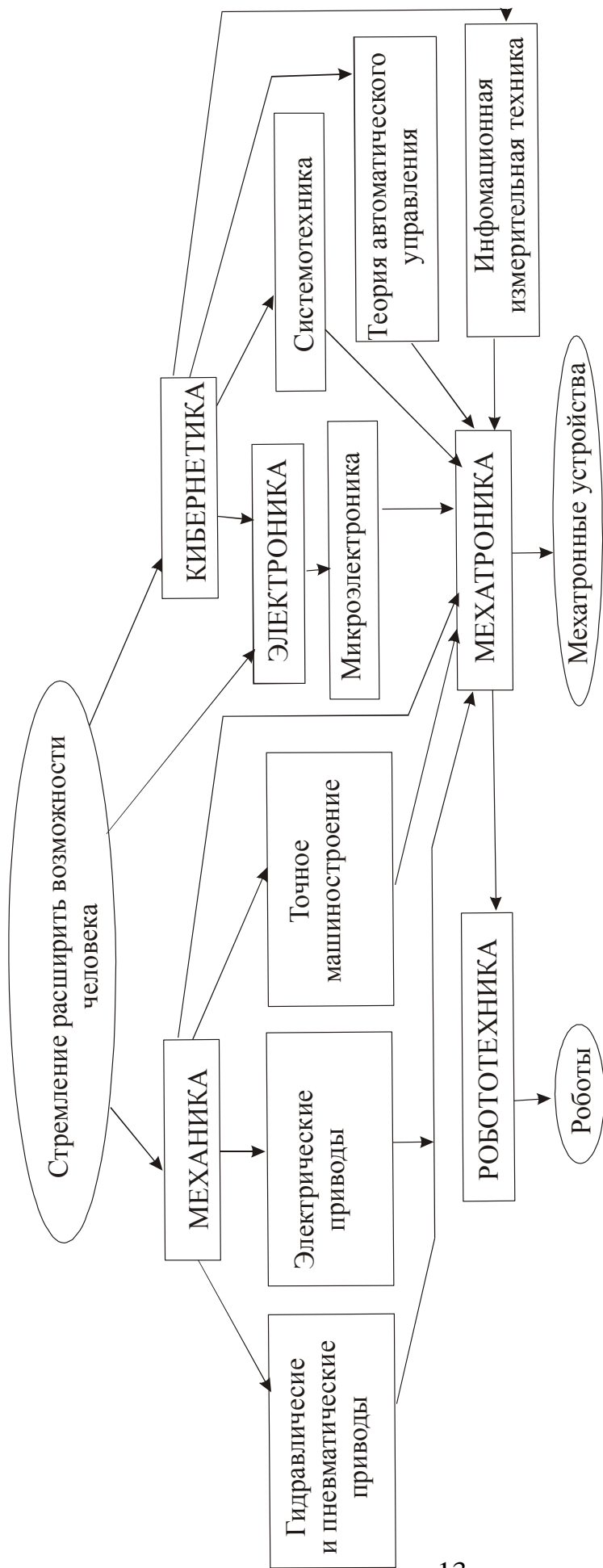


Рис.2.1. Место мехатроники и робототехники среди других отраслей науки

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1. Развитие какой техники предшествовало появлению робототехники.*
- 2. Как называется первый манипулятор и когда он был создан.*
- 3. Какие функции роботов подобны функциям человека.*

## ГЛАВА 2. СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

### 2.1. Определение и предмет Мехатроники

Понятие «система» употребляется в различном контексте и является распространенным понятием в различных областях. Здесь под системой понимается совокупность связанных между собой определенным образом составляющих, способных совместно выполнять определенные действия, в результате которых перемещаются, запасаются материя, энергия, информация. Иногда составные части системы имеют различную природу, например, электрическую, химическую, механическую или биологическую.

Например, в компьютерах в качестве внешней памяти используются накопители на жестких магнитных дисках (НЖМД) – винчестеры. НЖМД представляют техническую систему, состоящую из совокупности элементов разной природы, а именно:

- диска из сплавов алюминия или керамики, покрытого ферролаком; блока магнитных головок;
- электродвигателей для вращения диска и управления головками;
- электронного блока управления (контроллера).

В системе происходит преобразование энергии и информации. Действительно электрическая энергия преобразуется в механическую, что приводит к движению диска и головок, наряду с этим для осуществления этих движений одновременно идет передача и преобразование информации. Эта система позволяет хранить, записывать и считывать информацию. Можно снимать и тепловую энергию, так как при работе корпус НЖМД нагревается.

В связи с развитием микроэлектроники, и технологии изготовления электронной аппаратуры стало возможным использовать микроэлектронику и средства вычислительной техники для управления движением. Это дало возможность создать мехатронные системы, объединяющие две составные части – механическую и электронную, задачей которых является выполнение заданных движений. Приведенный выше НЖМД является примером мехатронного устройства.

Согласно японским прогнозам в будущем почти все машины – аппараты будут мехатронизированы, «мехатронные устройства станут предметом широкого спроса, обычным инструментом, которыми будут пользоваться люди в своей деятельности» [2] Область науки, занимающаяся созданием, эксплуатацией машин с компьютерным управлением – мехатронных систем получа название «Мехатроника». Предмет Мехатроники [4] можно сформулировать следующим образом:

*Мехатроника изучает синергетическое объединение узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами с целью проектирования и производства качественно новых*

*модулей, систем, машин и комплексов машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями.*

Под интеллектуальным управлением подразумевается то, что управление основывается на методах искусственного интеллекта, современных аппаратных и программных средствах на базе микроэлектроники.

Из данного определения следуют, что Мехатроника предлагает новый методологический подход в построении технических систем, а именно: учитывать наличие и взаимосвязь энергетических и информационных потоков. В определении подчеркивается синергетический характер. Синергия - это совместное действие, направленное на достижение общей цели. В Мехатронике рассматривается, что энергетические и информационные потоки направлены на реализацию заданного движения. Мехатронные системы проектируются изначально исходя из синергетического подхода. Базовыми объектами Мехатроники являются мехатронные модули, выполняющие как правило движение по одной управляемой координате.

## **2.2. Структура мехатронных систем**

Функционально в состав МС входят следующие основные элементы:

- исполнительный механизм с выходным звеном- рабочим органом;
- исполнительные устройства;
- аппаратные и программные средства системы управления;
- информационно-измерительная система;
- коммуникационная система

Каждый из этих составных элементов МС будет более подробно описан в дальнейшем. Здесь укажем лишь на взаимосвязь элементов МС и их место в выполнении мехатронной системой своего функционального назначения.

На рис. показана функциональная блок-схема структуры МС. Для сопряжения элементов в систему включены интерфейсные устройства (И1-И7) [4]. Под интерфейсом понимаются специальные вспомогательные схемы и устройства. Основное назначение интерфейса - это решение проблем стыковки, совместимости, т.е. чтобы элементы системы, имеющие иногда разную природу «понимали» друг друга.

Интерфейс И1 представляет человеко-машинный интерфейс (интерфейс пользователя), если МС управляется человеком - оператором. Основное назначение этого интерфейса обеспечить связь между оператором (пользователем) и мехатронной системой. Если ранее назначение интерфейса пользователя заключалось в эффективном использовании МС, то сейчас добавилось требование создание удобства для пользователя. В этой связи появилась эргономика. Эргономика – это междисциплинарная наука, объединяющая знания в области физики, физиологии и психологии. В качестве примера оборудования для интерфейса И1 можно указать на монитор и



клавиатуру, щиты управления, пульты и рукоятки дистанционного управления и т.д.

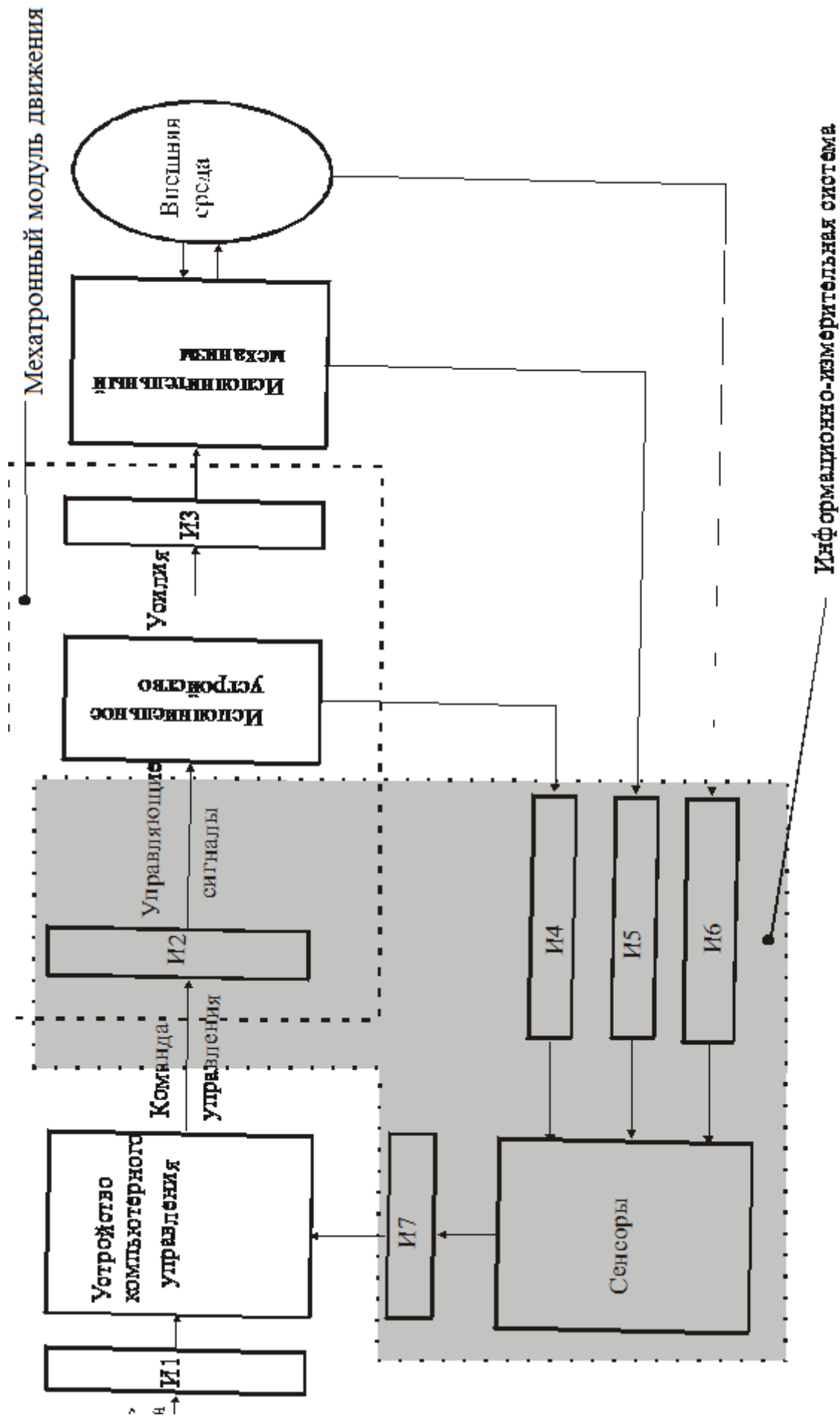


Рис.2.1. Блок-схема структуры мехатронных систем

Аппаратные и программные средства систем управления на блок-схеме представлены в едином блоке как управляющий комплекс (УК). Управляющий комплекс выполняет обработку информации, при этом оно выполняет следующие основные функции: управляет информационным потоком, контролирует, находятся ли параметры МС в заданных пределах, инициирует соответствующие управляющие воздействия. Особенность компьютерного управления заключается в том, что оно происходит в реальном масштабе времени. УК без запаздывания должен реагировать на внешние события, т.е. на изменение внешней среды и других возмущающих факторов. УК должно параллельно обрабатывать различные сигналы и вести обработку информации, ждать информации извне от человека оператора или сенсорных датчиков. Совершенство МС во многом определяется возможностями УК.

Интерфейс И2 служит для формирования на основе цифровых выходных сигналов УК управляющих электрических напряжений и токов для исполнения двигателем привода мехатронного модуля движения, адекватного управляющему воздействию. В состав И2 обычно входят цифро-аналоговые преобразователи, усилительно - преобразующие устройства для привода. Например, частоту вращения электродвигателя постоянного тока можно изменять путем регулирования частоты включения и отключения якоря от источника питания с помощью широтно-импульсного преобразователя (ШИП). Для этой цели используются транзисторные ключи и схема управления привода. При передаче информации используется вначале цифровая фильтрация и после ЦА-преобразования производится аналоговая фильтрация и согласование сигналов.

Исполнительное устройство (ИУ) представляет устройство, выполняющее двигательные функции. В качестве исполнительных устройств применяются электродвигатели, пневмо и гидродвигатели или комбинированные двигатели, выполняющие вращательные движения и линейные перемещения.

Интерфейс И3 представляют обычно механические передачи, трансмиссионные узлы и устройства. Этот интерфейс предназначен для передачи и преобразования движения от ИУ к входному звену исполнительного механизма. В качестве И3 можно рассматривать, например, редукторы, соединительные муфты, тормозные устройства и т.д. Совокупность ИУ и И3 называют приводом. Управляемый привод или мехатронный модуль состоит как правило из И2, ИУ и И3.

Исполнительный механизм (ИМ) – это механическая система, предназначенная для выполнения своим рабочим органом заданных движений. В зависимости от конкретного приложения исполнительные механизмы могут существенно различаться как по конструкции, так и по потребляемой мощности и различным эксплуатационным характеристикам. Если исполнительный механизм манипуляционного робота представляет многозвенный манипулятор с рабочим органом, имеющим шесть управляемых степеней свободы, то бинарные звенья, например, клапан, электромеханическое реле относятся к двухпозиционным механизмам. В электрогидравлических системах в качестве

ИМ используются управляющие электромагниты [6]. В зависимости от конструктивной схемы подвижный элемент – якорь может совершать поступательное или вращательное движение. Якорь является и выходным звеном, связанным с регулирующим элементом гидроклапаном, золотником, дросселем и т.д.

Следует отметить, всегда существуют внешние по отношению к МС факторы, с которыми при функционировании взаимодействует МС. Совокупность этих факторов можно назвать внешней средой. Внешней средой, например, для рабочего органа станка с ЧПУ является сила резания при операции металлообработки. По характеру взаимодействия с МС различают детерминированные и недетерминированные среды. К детерминированным средам относятся такие среды, воздействие которых может быть заранее определено с необходимой точностью. Например, силы резания могут быть заранее оценены с помощью аналитико-экспериментальных исследований. Наоборот, возмущающие факторы недетерминированных сред трудно предусмотреть, ими невозможно управлять. К таким средам относятся подводная и космическая среда.

В последнее время для управления в неопределенной среде используются методы нечеткой логики. Нечеткая логика имеет дело с переменными, которые скорее наблюдаются, чем измеряются.

На рис. показаны интерфейсы датчиков И4, И5 и И6. Датчики выполняют преобразование измеряемого входного физического параметра в электрический сигнал. Датчики – это чувствительные элементы (сенсоры) и преобразователи, которые несут информацию о состоянии приводов, рабочего органа, внешней среды. Примером электромеханического датчика является акселерометр. Чувствительным элементом этого датчика является инерционная масса, связанная с основанием прибора с помощью пружины. Под действием ускорения чувствительный элемент перемещается, это перемещение преобразуется в определенные электрические сигналы. Тем самым измеряется ускорение.

В зависимости от вида выходных сигналов различают три класса датчиков:

- аналоговые датчики, вырабатывающие аналоговые сигналы;
- цифровые датчики, генерирующие последовательность дискретных сигналов;
- бинарные датчики, выходными сигналами которых являются сигналы лишь двух уровней: «включено»/ «выключено» (0/1).

В качестве И7 может использоваться система технического зрения.

В том случае, если интерфейс И4, И5, И6 включает аналоговый датчик, то перед входом на УКУ ставится интерфейс И7. Интерфейс И7 представляет аналогово-цифровой преобразователь. Необходимость в таком интерфейсе вызвана тем, что перед поступлением в компьютер все аналоговые сигналы должны быть преобразованы в цифровые.

Интерфейсы И4, И5, И6, И7 представляют в совокупности информационно-измерительную систему.

В функционировании СУ большая роль отводится коммуникационной системе.

Коммуникационную систему образует комплекс средств, аппаратных, программных предназначенных для выполнения функции коммуникации. Известно, что коммуникация – это процесс перемещения информации в пространстве. Процесс коммуникации включает в себя передатчик, передающий сообщение по каналам связи приемнику. На канал связи обычно влияет шум, искажающий сообщение и затрудняющий распознавание приемником сообщения. Например, при передаче аналоговых сигналов от датчиков (передатчика) по электрическому проводнику из-за нежелательных связей резистивного, индуктивного или емкостного характера возможно искажение сигнала. В этом случае для решения проблемы, часто желательно преобразовать аналоговый измерительный сигнал в последовательность импульсов, частота или продолжительность которых известным образом связана с уровнем исходного сигнала. Затем передавать этот преобразованный сигнал. Технически, прежде чем оцифровывать аналоговые сигналы от датчиков, используются аналоговые фильтры, а после АЦ - преобразования используется цифровая фильтрация.

Укрупненно структуру МС можно представить состоящей из трех компонент:

- внешней среды, включающей источники всех внешних воздействий на МС;
- исполнительной системы, состоящей из привода, механического преобразователя движения и исполнительного механизма (органа);
- управляющей системы, включающей УК, информационно-измерительную систему и систему коммуникаций.

### 2.3. Классификация мехатронных систем

Для роботов, являющихся примером мехатронных систем, в технической литературе приведено множество классификаций по различным признакам. Существуют, например, классификации по технологическим возможностям, по назначению, по системе управления, приводам и т.д.

Основываясь на классификации роботов, предложенных Е.П. Поповым [7], МС можно разделить по СУ и участию человека в управлении на следующие типы: автоматические, биотехнические, интерактивные (табл.2.1). Каждый из типов МС подразделяется на разновидности. **Автоматические** типы МС отличаются тем, что в их работе не участвует оператор. Относящиеся к этому типу, *программные* МС работают по жесткой программе. *Адаптивные* МС имеют блок сенсорных датчиков, УКУ, могут функционировать в изменяющейся обстановке без участия оператора. *Интеллектуальные* МС обладают элементами искусственного интеллекта, они имеют развитую систему сенсорных датчиков, быстродействующее УКУ, могут воспринимать и распознавать обстановку, строить модель среды, автоматически принимать

решение о своих дальнейших действиях, работать, реагируя на изменение внешней среды, само обучаться путем накопления опыта и анализа своих действий. МС с нейросетевым управлением имеют обучаемые нейросети или управляются от нейрокомпьютеров. В управлении **биотехническим** типом МС непосредственно участвует человек-оператор. Этот тип МС имеет развитую систему человеко-машинного интерфейса. В *командно* управляемой МС оператор дистанционно с пульта управления управляет работой ИУ. Эта МС не имеет УКУ и блока сенсорных датчиков. Имеющиеся датчики предназначены в основном для предохранения нежелательных действий, предупреждения оператора о наступлении тех или иных действий.

Таблица 2.1

Типы	Разновидности
Автоматические	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Программные;</li> <li>2. Адаптивные;</li> <li>3. Интеллектуальные;</li> <li>4. Нейросетевые</li> </ol>
Биотехнические	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Командные;</li> <li>2. Копирующие;</li> <li>3. Полуавтоматические.</li> </ol>
Интерактивные	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Автоматизированные;</li> <li>2. Супервизорные;</li> <li>3. Диалоговые.</li> </ol>

Электронная система управления в этом случае включает усилительно-преобразующее устройство, пульт управления и т.д. *Копирующие* биотехнические МС имеют характерное задающее устройство. Когда оператор перемещает задающее устройство, то исполнительные устройства, непосредственно связанные с задающим устройством копируют перемещение задающего устройства. В системе управления *полуавтоматически* управляемого биотехнические МС участвуют одновременно оператор и УКУ. В этом случае задача УКУ состоит в том, чтобы сформировать воздействующие сигналы на ИУ в зависимости от команд поступивших от оператора. Так как решение о выполнении того или иного действия исходит непосредственно от оператора, то система управления в этом случае не содержит развитую систему УКУ и сенсорных датчиков.

*Автоматизированные* МС интерактивного типа имеют систему управления, которая в зависимости от выполняемой операции может изменять режимы работы, функционируя как в качестве автоматического так и биотехнического МС. Интерактивные МС с *супервизорным* управлением имеют возможность выполнять цикл операций в автоматическом режиме, однако переход от одной операции к другой производится по команде оператора через человеко-машинный интерфейс. МС с *диалоговым* управлением имеют развитую систему человеко-машинного интерфейса. Оператор и УКУ совместно принимают решение по управлению МС.

Взаимодействие оператора с УКУ может осуществляться не только подачей команд на специализированном языке, но и подачей команд голосом с получением ответного сообщения от УКУ. МС этого типа имеет совершенную систему управления, где УКУ участвует в формулировке задач по достижению поставленной цели.

По классификации приведенной в работе [8] также как и роботы МС можно разбить на 4 поколения. *К первому поколению* относятся МС работающие только по одной программе, циклически повторяя движение. Система управления не имеет обратной связи, является самой простой и дешевой. *Ко второму поколению* МС имеющие СУ с обратной связью. В памяти таких СУ имеется несколько программ, эти МС могут переходить от одной программы к другой. *К третьему поколению* относятся МС, способные к обучению. В СУ этих МС включена микроЭВМ, имеется более совершенная информационно-измерительная система. *Четвертое поколение* представляют МС с искусственным интеллектом.

В литературе встречается и подразделение МС по степени мехатронизации. При этом, чем больше функциональные возможности МС зависят от электронной аппаратуры тем больше считается его степень мехатронизации.

### ***Вопросы для самоконтроля***

- 1. Какие факторы способствовали появлению мехатроники.*
- 2. Какое научное направление появилось раньше, робототехника или мехатроника.*
- 3. Что означает понятие «синергетическое объединение». В чем заключается новизна мехатронного подхода.*
- 4. Какие системы функционально входят в состав мехатронной системы.*
- 5. В чем назначение управляющего комплекса.*
- 6. Для чего предназначено исполнительное устройство.*
- 7. Какие устройства входят в состав информационно-измерительной системы.*
- 8. На какие типы подразделяются мехатронные системы по управлению и участию человека в управлении.*
- 9. Укажите на разновидности автоматических мехатронных систем.*
- 10. Дайте характеристику различных поколений мехатронных систем.*

## ГЛАВА 3. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Как отмечалось выше (п.2.2), система управления предназначено для решения задач управления и объединяет в себе различные системы представляющие программные и аппаратные и средства. В связи с этим отдельно коротко остановимся на каждом из них, а именно: на задачах системы управления (СУ), структурном построении СУ, аналитическом обеспечении и программных средств СУ. Аппаратное построение СУ излагается в следующей главе.

### 3.1. Задачи системы управления

Очень важная роль в Мехатронике и Робототехнике отводится той части МС и РС, которая участвует в движении потока информации. Эта составная часть называется системой управления (СУ). СУ предназначена для выполнения следующих задач управления [9]:

- **Планирование и формирование команд на изменение положения.** В этом случае задача состоит в том, чтобы предусмотреть возможные положения рабочего органа (рабочих органов) соответствующие функциональному назначению МС и РС. Например, в зависимости от места нахождения информации на диске, планируется положение считывающей головки НЖМД. В зависимости от выполняемой технологической операции планируется множество положений схвата робота и обеспечивается изменение положения в РС.

- **Планирование и формирование команд на осуществление движений с заданными кинематическими характеристиками**

В зависимости от функционального назначения МС ИРС, необходимо планировать и сформировать командные сигналы на то чтобы выполнить определенное движение, соответствующие по траектории, по законам изменения скорости, ускорения. Иногда необходимо планировать выполнение движения с учетом исполнения всех требований.

- **Планирование и формирование команд на оказание действий с определенными усилиями.** Эта задача заключается в том, чтобы рабочий орган МС и РС оказывал заданные действия на внешнюю среду. В станках с ЧПУ резец должен действовать с определенными усилиями на заготовку при обработке детали. В шагающем аппарате чтобы опорная нога не «проскальзывала», геометрическая сумма всех сил и моментов, действующих на пяту опорной ноги должны быть равны нулю.

Для решения задач управления используются аналитико- программные обеспечение СУ, представляющие инструментальные (алгоритмы и программы), а также аппаратные средства, включающие И2, УК, информационно-измерительную и коммуникационную систему. Таким



образом, СУ представляет сложную систему объединяющие различные модули разной природы, подчиненные единой цели – решению задача управления.

### 3.2. Иерархическая структура системы управления МС иРС

Выше показано, что системы управления МС, также как и для роботов могут быть разнообразными. Для того, чтобы определить круг задач решаемых отдельными модулями СУ применим иерархический подход к структурированию СУ роботов [10]. Согласно этой структуре различают четыре уровня иерархии (рис.3.1): интеллектуальный, стратегический, тактический и исполнительный. Высший, интеллектуальный уровень включает технические средства искусственного интеллекта предназначенные, например, для восприятие и распознавание обстановки. Назначение этого уровня заключается в принятии решений в условиях неполной информации о внешней среде.

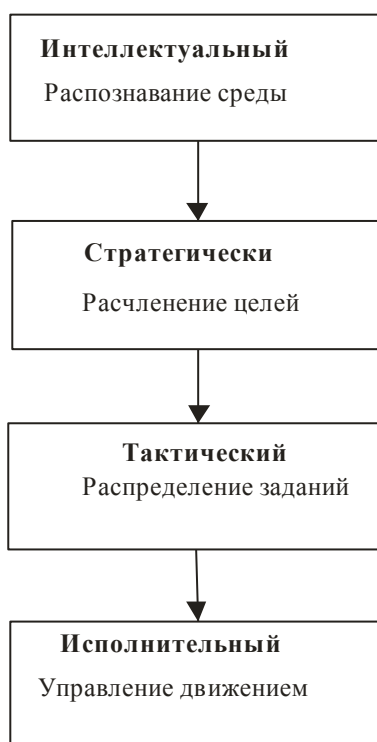


Рис.3.1. Иерархическая структура управления МС

При этом учитывается и предыдущий опыт, т.е. система способна самосовершенствоваться. Высший уровень обеспечивается информацией со всех нижних уровней и от информационно-измерительной системы. Функции интеллектуального уровня обычно выполняют суперкомпьютеры.

На стратегическом уровне, в соответствии с решением, выработанным на высшем уровне осуществляется планирование движения путем разбиения этого движения на элементарные операции. Затем для каждой последовательности действий производится формализация целей управления. Например, движение

закрепление заготовки может быть разбито на несколько простых последовательно выполняемых во времени операций: насадить заготовку на шпильки; взять гайковерт; повернуть гайки поочередно на всех шпильках.

При выполнении функции этого уровня, обычно с помощью компьютера, используется информация, как с высшего уровня, так и от иерархически ниже расположенных уровней СУ и от ИИС. В некоторых случаях функции интеллектуального и стратегического уровней могут быть совмещены. Формализация операции означает, для каждого из элементарных операций должны быть получены аналитические модели. При этом может решаться обратная задача о положениях, о скорости для рабочего органа при условии выполнения критерия точности, быстродействия и т.д. Стратегический уровень выдает информацию о плане выполнения операций в форме команд управления движением всей МС.

После получения этих команд, на тактическом уровне производится разделение целенаправленных действий рабочего органа МС на согласованные движения звеньев и формирование соответствующих сигналов управления на каждый конкретный ММ движения с учетом их технических характеристик.

На тактическом уровне УК выполняет в реальном масштабе времени, например, следующие функции:

- прием команд от стратегического уровня;
- прием и обработка информации от блока сенсорных датчиков.

Эти данные о текущей конфигурации позволяют установить некоторые данные, необходимые для выполнения заданного программного движения рабочего органа;

- выдача программы управления на исполнительный уровень.

На исполнительном уровне решаются задачи управления ММ. Здесь вырабатываются управляющие сигналы на приводы с учетом технических характеристик приводов и их силовых преобразователей, исходя из условия выполнения заданных динамических, эксплуатационных характеристик и минимизации энергетических затрат. При этом используются как типичные алгоритмы управления, так и современные достижения теории управления.

### *3.2.1 Системы управления интеллектуального уровня*

Как указывалось, на интеллектуальном уровне управления МС предполагается формирование модели внешней среды, обработка изображений и распознавание образов, планирование действий для решения поставленной перед МС функциональной задачи и с учетом возможностей самой МС. Для самосовершенствования системы также необходимы специальные алгоритмы. С технической точки реализации, в формировании модели внешней среды участвуют специальные датчики, а также система технического зрения (система компьютерного зрения). При этом наибольшую трудность представляет обработка информации полученных от этих технических средств. Достаточно сложными являются алгоритмы анализа

зрительной информации [3,7]. Их можно разделить на алгоритмы машинного представления зрительной информации полученной от видеодатчиков, а также алгоритмы анализа сцены. Эти алгоритмы используют средства и методы теории искусственного интеллекта. До настоящего времени, в связи с ограниченными возможностями РС по переработке информации от видеодатчиков, наибольшее применение нашли алгоритмы обрабатывающие плоские сцены. Развитие возможностей РС позволили перейти к обработке и анализу трехмерных сцен. Для трехмерной системы технического зрения (СТЗ) характерно применение нескольких датчиков, включая и подвижные датчики, а также регулируемой подсветки. Машинное представление зрительной информации основано на том, чтобы получить контурное изображение сцены которую поставляют видеодатчики. Цифровое изображение может быть представлено в виде матрицы

$$f(x, y) = \begin{pmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, M-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1, M-1) \end{pmatrix}$$

Здесь  $x, y$  – координаты,  $f(x, y)$  – величина пропорциональная яркости. Каждый элемент системы называется пикселем. Для машинной обработки зрительной информации используются алгоритмы дифференцирования (объемного дифференцирования) и сглаживания функции освещенности. В результате получается вектор градиента освещенности. После этого выделяются точки принадлежащие контуру, производится сегментация контура, подгонка линий, поиск вершин и, наконец, дается описание контурного рисунка. Существуют и другие приемы выделения контура. В дальнейшем в соответствии с алгоритмом производится анализ сцены представленной в виде описания контурного рисунка. Этот процесс, называемый грамматическим разбором, направлен на то, чтобы определить число и вид тел, отношения, в которых они находятся и их пространственные характеристики. Анализ сцены может осуществляться сравнением полученного изображения с шаблоном. В результате устанавливается истинное положение объекта.

В качестве примера можно привести роботизированный участок с интеллектуальным роботом. На рис.3.1 показан робот, имеющий два многозвенных манипулятора 5 и 10. На схвате манипулятора 5 установлено 19 тактильных датчиков (датчиков давления), а на схвате манипулятора 10 таких датчиков - 20. Для управления в блок сенсорных датчиков входят 8 телекамер технического зрения (1-4,6-9), из которых одна под номером 8 – подвижная, установлена на схвате. Камеры 1-4,8 используются для обнаружения и распознавания деталей. Информация, снимаемая с тактильных датчиков и

телекамер поступает на 2 микроЭВМ 14 и 17. Эти компьютеры выполняют анализ и переработку информации в реальном масштабе времени.

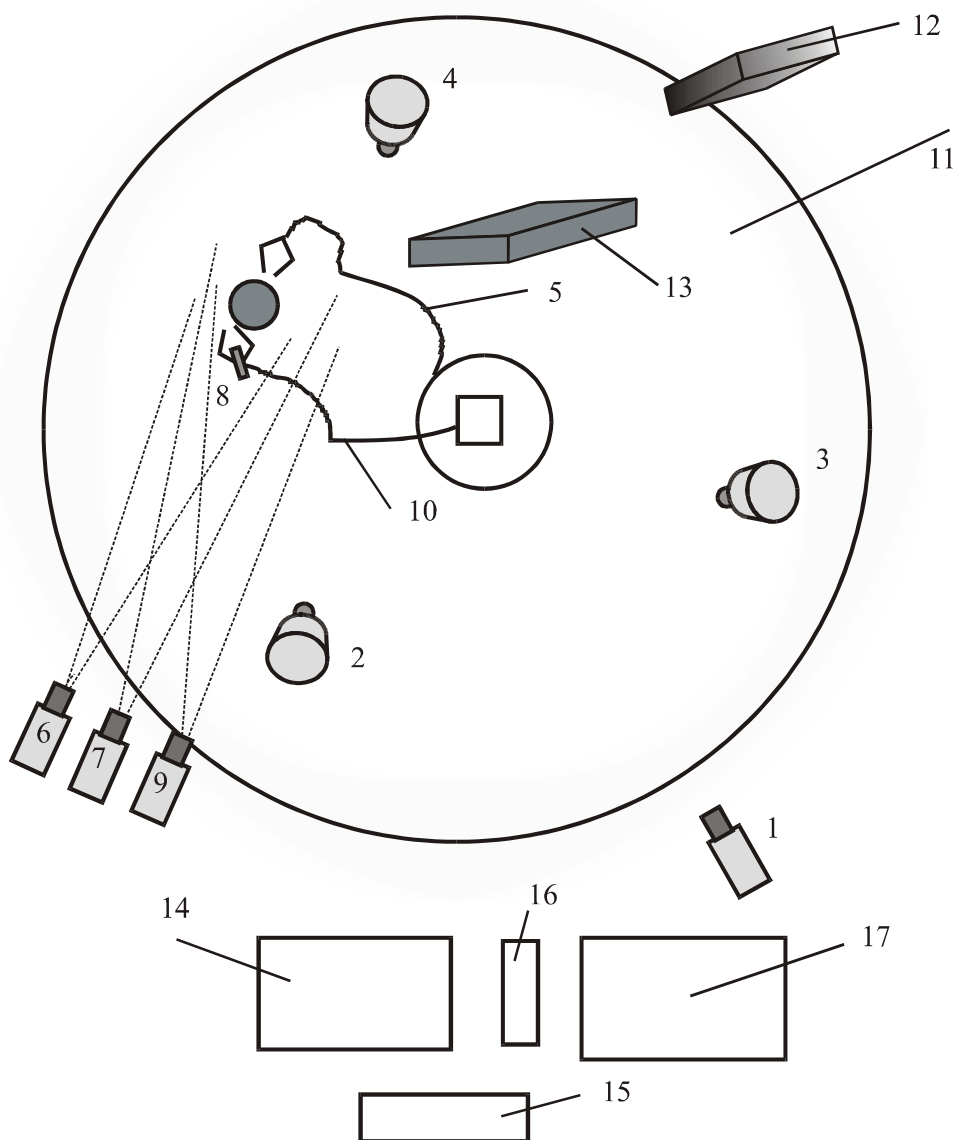


Рис.3.1.Роботизированный участок

Время обработки одного телевизионного кадра определяется частотой работы телекамеры и не превышает  $1/60$  с. Управление двигателем осуществляется от компьютеров через усилитель мощности, установленный в стойке питания 16. МикроЭВМ 17 обеспечивает распознавание деталей. Для обеспечения требуемой освещенности имеется источник питания 13 с регулирующим устройством 12. После распознавания детали определяется ее ориентация путем сравнения с эталоном. После этого планируется движение и начинается движение манипулятора для захвата детали. МикроЭВМ преобразует координаты и управляет действиями манипулятора, решая задачи управления на исполнительном уровне. Для синхронизации работы микроЭВМ использовано устройство 15. Основные моменты распознавания объекта

показаны на рис. 3.3. Здесь в кадре 1 показан вид и расположение деталей, снятый с камеры.

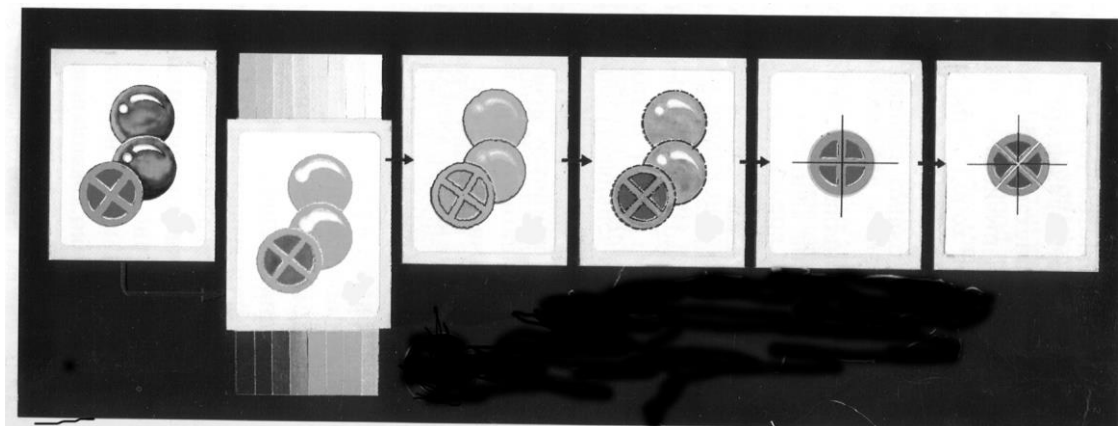


Рис.3.3. Этапы распознавания

Для обработки изображений поступивших с камеры аналого-цифровой преобразователь использует  $256 \times 256$  точек. Яркость изображения в каждой точке переводится в двоичный код. В кадре II изображен видеосигнал эталонного изображения. После объемного дифференцирования изображение получило вид изображенный на кадре III, а после фильтрации получен кадр IV. В кадре V показан эталон, который сравнивается с отдельным изображением детали на кадре VI. Совпадение их свидетельствует о правильности выбора детали и об ориентации детали. После этого планируется движение и подается сигнал захвата детали рабочим органом манипулятора.

### 3.2.2. Планирование движения на стратегическом уровне управления

На стратегическом уровне система управления осуществляет планирование движения для принятия решения о ходе дальнейших действий. Построение решений в этом случае также базируется на методах теории искусственного интеллекта.

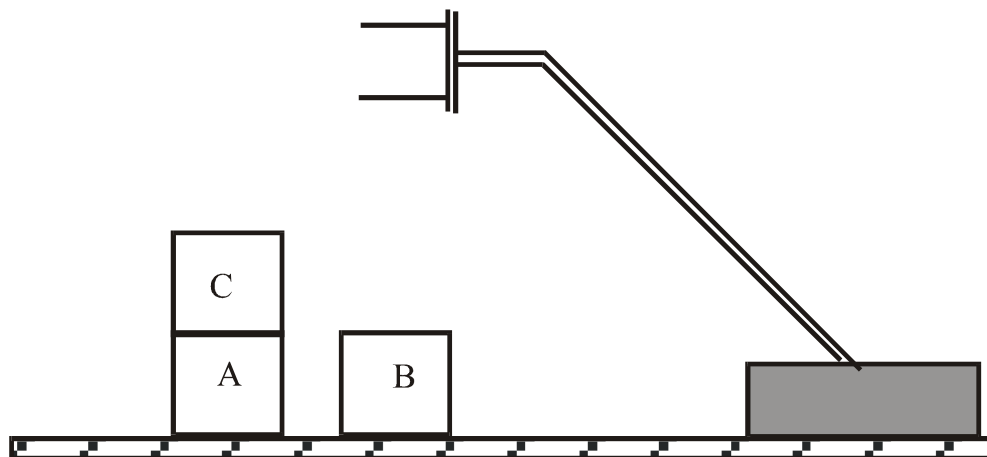


Рис.3.4.Исходная схема

После того, как осуществлена идентификация окружающей среды, задача СУ направлена на то, чтобы осуществить определенные целенаправленные действия. При этом действия МС заключаются в том, чтобы преобразовать пространство среды из некоторого первоначального состояния в другое. Решение поставленной перед СУ задачи осуществляется разными способами. Наиболее простым является продвижение к цели методом последовательного перебора. Для перебора различных вариантов используются графы. Рассмотрим простейшую задачу (ФУ), в котором рассматривается рабочее пространство состоящее из поверхности Т и трех плоских объектов А, В и С (рис.3.4). В начальном состоянии объекты А и В находятся на поверхности Т, а объект С расположен сверху А.

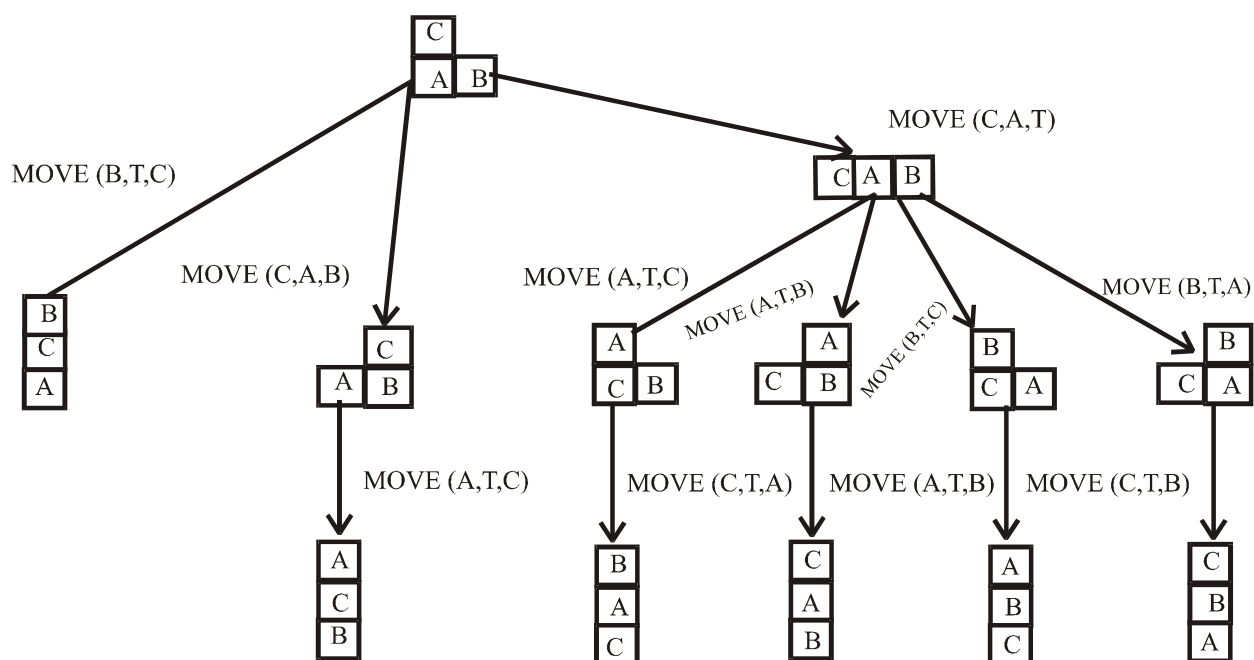


Рис.3.5.Граф последовательности действий

Необходимо преобразовать пространство состояний так, чтобы объект С располагался на Т, В на С, а А на В. При этом МУ может использовать единственный оператор MOVE (двигать) X от Y к Z. Для применения оператора необходимо чтобы на объектах X , Z сверху не было, других объектов. Обозначив через дугу графа операторы MOVE(X,Y,Z) действий над состоянием, а состояния в виде вершин, строится граф поиска требуемого пространства состояний (рис3.5). Из рис. 3.5 следует, что решение состоит в нахождении на графе кратчайшего пути состоящей из последовательности дуг (операторов): MOVE(C,A,T), MOVE(B,T,C), MOVE(A,T,B).

Аналитически задачу планирования на стратегическом и на тактическом уровне можно представить в виде позиционной задачи управления [12]. Эта задача формируется следующим образом. Пусть состояние МС описывается пространством  $R=\{r_j\}$ ,  $j=1,\dots,n$ . Состояние внешней среды описывается

множеством  $S=\{s_i\}, i=1,\dots,m$ . Набор действия МС по изменению  $S$  и  $R$  обозначим  $D=\{d_k\}, k=1,\dots,l$ . Влияние МС можно, в общем виде, представить в виде системы дифференциальных уравнений

$$\frac{\partial b}{\partial t} = f_r(B, D), (r = 1, \dots, n + m), \quad (3.2.1.)$$

где  $B=\{b_k\}=(R, S)$  вектор-функция состояния системы МС и внешняя среда (ВС).

На возможные состояние систем действуют различные ограничения. Эти ограничения аналитически можно представить в виде уравнений связей

$$a_i(B) < 0 \quad (i = 1, \dots, m_1); \quad (3.2.2)$$

$$\beta_j(B, D) < Q \quad j = 1, \dots, m_2).$$

Здесь  $m_1, m_2$  - количество связей.

В результате выполнения целенаправленных действия МС должен обеспечить изменение состояния мехатронной системы - ВС из текущего состояния  $(R_T, S_T)$  в целевое состояние  $(R_K, S_K)$ .

Естественно, что существует множество способов достижения конечного состояния. В этой связи ставится задача получить оптимальное решение задачи. Для выбора оптимального варианта вводится некоторый критерий, называемый функционал

$$J = \int_{t_T}^{t_K} f(B, D) dt \quad (3.2.4)$$

Задача оптимального управления заключается в том, чтобы найти такое решение, при котором функционал имеет максимальное (минимальное) значение.

### 3.2.3. Планирование на тактическом уровне

Различные методы планирования на тактическом уровне рассмотрены в работе (Ющ). Различают кинематическое и динамическое планирование. При кинематическом планировании задачи решаются в пространстве обобщенных координат или в пространстве декартовых координат. Под пространством обобщенных координат понимается множество  $Q$  образованное из значений обобщенных координат в определенный момент времени  $Q = \{q_1, \dots, q_N\}$ .  $N$  - число обобщенных координат  $q$ . При решении в пространстве декартовых координат, рассматриваются кинематические характеристики рабочего органа в декартовой системе координат. Для решения задач при этом широко используются однородные преобразования с применением метода Денавит-Хартенберга. В результате планирования движения определяются конкретные

значения обобщенных координат для заданного промежутка времени для движения, полученного на стратегическом уровне или же из функционального назначения (в случае отсутствия уровня управления расположенного иерархически уровня).

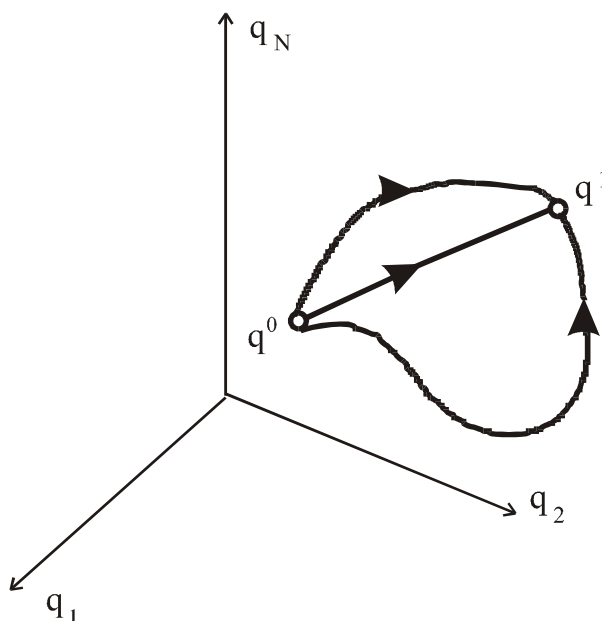


Рис.3.6. Возможные функции изменения обобщенных координат

Рассмотрим один из способов решения задачи планирования в пространстве обобщенных координат [9] (рис.3.6).

Пусть в некоторый момент времени  $t_0$  вектор обобщенных координат имеет значение  $\mathbf{q}_0$ , а в момент времени  $t_1$  должен иметь значение  $\mathbf{q}_1$  необходимо подобрать значение  $\mathbf{q} = \mathbf{q}(t)$ , удовлетворяющее краевым условиям

$$\mathbf{q}(t_0) = \mathbf{q}_0, \mathbf{q}(t_1) = \mathbf{q}_1 \quad (3.2.5)$$

(В(3.2.5) и в дальнейшем векторные величины, имеющие смысл множества обозначены жирным шрифтом).

Так как задача имеет множество решений, то можно ввести дополнительное условие, а именно, потребовать, чтобы обобщенные координаты изменялись линейно. При этом одновременно необходимо иметь в виду, что максимальные значения обобщенных координат не должны превосходить заранее известных значений  $\mathbf{q}_i^{\max}$ , т.е. максимальной, исходя из технических возможностей, скорости, развиваемой приводом. Дополнительное условие имеет вид

$$|\dot{\mathbf{q}}_i| \leq \dot{\mathbf{q}}_i^{\max}. \quad (3.2.6)$$

Если условие (3.2.6) не может выполняться, то необходимо будет подобрать время  $t_1$ . В случае линейного изменения обобщенных координат в промежутке времени  $t \in [t_0, t_1]$  выполняется равенство



$$\frac{\mathbf{q} - \mathbf{q}_0}{t - t_0} = \frac{\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_0}{t_1 - t_0} \quad (3.2.7)$$

или после преобразований (3.2.7)

$$\mathbf{q} = \mathbf{q}_0 + \lambda(t)(\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_0), \quad (3.2.8)$$

где

$$\lambda(t) = \frac{t - t_0}{t_1 - t_0}$$

Взяв производную по времени из соотношения (3.2.8) можно получить равенство

$$\dot{\mathbf{q}}(t) = \lambda(t)(\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_0) \quad (3.2.9)$$

Отсюда следует физический смысл введенной величины  $\lambda(t)$ , называемой профилем скорости. Профиль скорости с точностью до множителя  $(\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_0)$  представляет обобщенную скорость в  $i$ -м сочленении. Следовательно, выбрав профиль скорости можно обеспечить линейное изменение обобщенных координат. Для того, чтобы выбрать профиль скорости, или закон изменения обобщенной координаты возьмем интеграл от выражения (3.2.9) на заданном промежутке времени

$$\int_{t_0}^{t_1} \dot{\mathbf{q}}(t) dt = \mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_0 = (\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_0) \int_{t_0}^{t_1} \lambda(t) dt$$

Отсюда вытекает важное равенство, исходя из которого можно выбирать функцию  $\lambda(t)$ , а именно

$$\int_{t_0}^{t_1} \lambda(t) dt = 1 \quad (3.2.10)$$

В геометрическом смысле равенство (3.2.10) означает (рис.3.7), что площадь ограниченная кривой функции  $\lambda(t)$  на заданном отрезке  $[t_0, t_1]$  должен равняться единице. Одной из наиболее приемлемых функций, обеспечивающих плавное изменение обобщенной скорости на заданном интервале, является функция

$$\lambda(t) = \frac{2}{T} \sin^2 \frac{\pi t}{T} \quad (3.2.11)$$

где время  $T=t_1 - t_0$ .

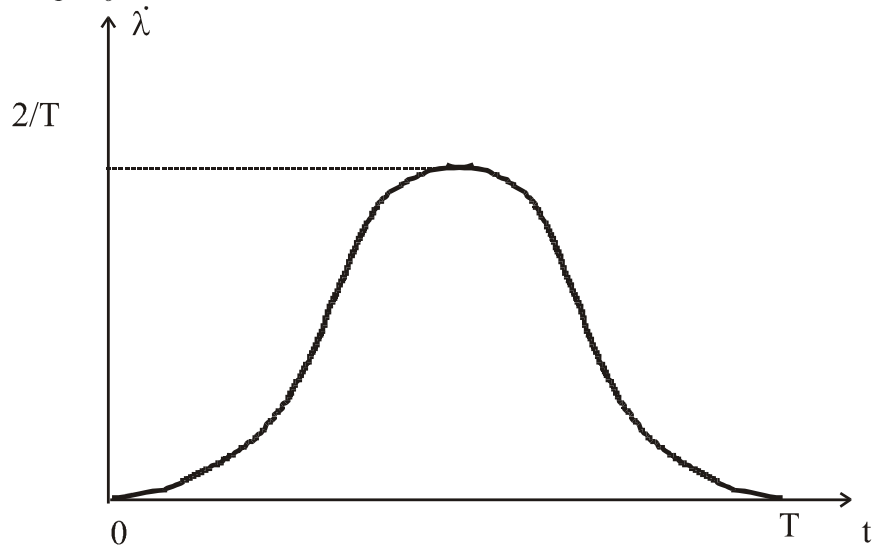


Рис.3.7. Функция профиля скорости

Проинтегрировав выражение (3.2.11) и подставив интеграл в равенство (3.2.8) получим требуемый закон изменения обобщенных координат. Эти сведения являются входными данными для решения задачи управления на исполнительном уровне. В случаях, когда требуется достаточно стабильное скоростное движение множества взаимосвязанных тел со значительными массами необходимо моделирование динамики на тактическом уровне управления. Такое моделирование позволит учесть взаимное влияние на движения взаимосвязанных масс. Одним из методов такого моделирования является применение комбинированной модели основанной на сетях Петри и симплексах высокой размерности .

#### 3.2.4. Исполнительный уровень управления

Исполнительный уровень управления составляют комплекс аппаратных и программных средств, выполняющих задачи управления приводом одного движения. С другой стороны система управления исполнительного уровня представляет совокупность систем управления всех приводов мехатронной системы, включая сам исполнительный механизм, например, манипулятор для робота.

Рассмотрим структуру системы управления исполнительного уровня [4]. Задачей управления на исполнительном уровне является обеспечение заданных требований по точности, устойчивости и качеству переходных процессов.

В этих целях применяют различные построения структурных схем, обеспечивают заданный набор регуляторов и других звеньев. В наиболее общем виде структурная схема исполнительного уровня может иметь вид представленный на рис.3.8.

Структурно в систему управления входят контроллер движения, не показанный на рисунке, регулятор положения (РП), регулятор скорости (РС), регулятор прямой связи по скорости изменения управляющего воздействия (РПСС), регулятор обобщенной силы (РОС), регулятор корректирующей связи по

возмущающему воздействию (PCBB). Информационно-измерительная система представлена не показанными на рисунке датчиками обратной связи по обобщенной координате  $q$ , обобщенной скорости  $\dot{q}$ , обобщенной силе  $Q$ .

Контроллер движения аккумулирует входное воздействие в виде входных сигналов для управления в общем случае по обобщенной координате  $g_q$ , обобщенной скорости  $g_{\dot{q}}$ , обобщенной силе  $g_Q$ . Сигналы ошибки в контурах обозначены через  $e$  с соответствующими индексами. Входное и возмущающее воздействие на мехатронный модуль движения (ММД) обозначены через  $u$  и  $v$ . Обычно коэффициенты регуляторов определяются при синтезе системы управления методами Теории автоматического управления. Предполагается, что в процессе эксплуатации эти коэффициенты остаются неизменными. Однако может оказаться, что в действительности регуляторы (имеющие определенные пределы регулирования) в некоторых случаях не смогут компенсировать ошибки по обратным связям.

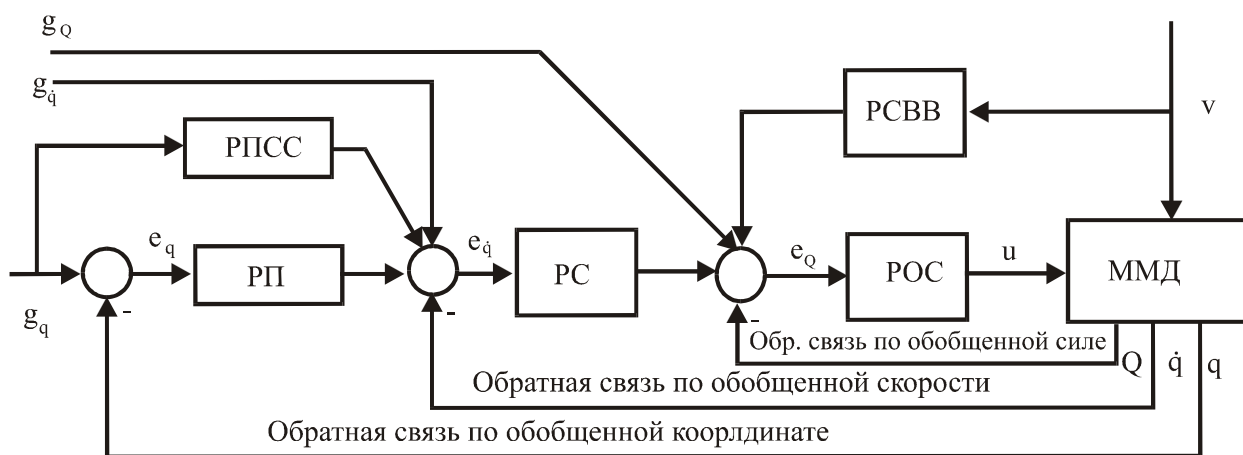


Рис.3.8. Обобщенная структурная схема СУ исполнительного уровня.

В таких ситуациях при необходимости применяют адаптивное управление с адаптивной настройкой регуляторов или применяют технологии интеллектуального управления.

### 3.3. Технологии интеллектуального управления

Аналитическое обеспечение СУ представляет совокупность различных аналитических средств и приемов, направленных на решение задач управления МС. При этом задача формулируется следующим образом: необходимо за конечное время изменить состояние исполнительной системы, в частности осуществить заданное программное движение рабочего органа. Синтезируемые алгоритмы управления должны обеспечить требуемые функциональные показатели (точность, быстродействие, плавность движения и т.п.). Эти алгоритмы должны обеспечивать оптимальное управление, быть гибкими по отношению к изменению цели управления, быть адаптивными по отношению к

изменению состояния внешней среды и внутреннего состояния МС. Аналитическое обеспечение СУ зависит от уровней иерархии, так как в зависимости от иерархии отличаются решаемые задачи.

Для решения задач управления наряду с традиционными аппаратами Теории автоматического управления используются современные технологии управления использующие методы искусственного интеллекта, это:

- технологии экспертных систем;
- технологии нейросетевых структур;
- технологии нечеткой логики;
- технологии основанные на генетических алгоритмах;
- гибридные технологии

Ниже даны некоторые сведения об этих современных информационных технологиях используемых в системах интеллектуального управления.

### *3.3.1. Технология экспертных систем*

Одним из основных направлений в области искусственного интеллекта является разработка систем, основанных на знаниях (СОЗ). Целью построения таких систем является исследование и применение знаний экспертов для решения сложных задач, возникающих на практике. В таких системах используются знания в виде конкретных правил решения некоторых классов задач. В этой области исследований осуществляется разработка моделей представления, извлечения и структурирования знаний, изучаются проблемы создания баз знаний (БЗ), которые образуют основную часть СОЗ. Частным случаем СОЗ являются экспертные системы. Это направление рассматривает неструктурированные или слабо структурированные проблемы.

Для успешного построения экспертной системы, в строго определенной области применения, должен быть эксперт, хорошо понимающий задачу, имеющий специальные знания и опыт. Эксперт должен уметь четко формулировать свои знания, оценку, опыт и должен уметь формулировать методы, которые надо применять для решения поставленной задачи. Эти знания для компьютерного программирования представляются с помощью продукционных правил, семантических сетей и фреймообразных структур.

Одна из наиболее успешно использованных экспертных систем была создана в 1960 году и называлась система Dendral [11]. Эта система разрабатывалась для правдоподобного структурного представления органических молекул на основе данных масс-спектрального анализа. Более 15 лет эта система использовалась химиками-органиками в качестве консультанта.

Возможны два варианта использования экспертных систем:

1) в качестве "советчика" на этапе проектирования САУ (режим **off-line**), предлагающего к рассмотрению большое число вариантов (альтернатив) построения регулятора и поясняющего преимущества или недостатки тех или иных решений;

2) включив ее непосредственно в контур управления объектом (процессом) и используя в режиме реального времени (**on-line**) в качестве "экспертного регулятора" (или "экспертно-управленческой" системы), заменяя, таким образом, традиционные цифровые регуляторы или дополняя их.

Если в первом из этих случаев проблема построения экспертной системы сводится к проблеме "инженерии знаний" (knowledge engineering), т.е. накопления, обобщения знаний экспертов и представления их в наиболее наглядной и удобной для пользователя форме, то цели и функции экспертной системы во втором случае уже совершенно иные.

На "экспертный регулятор" здесь возлагается задача оценки текущего состояния системы на основе информации, поступающей от датчиков, и выбора наиболее подходящей в данный момент стратегии управления, так же, как это делал бы опытный человек-оператор, хорошо представляющий себе особенности управления данным конкретным объектом или процессом. Системы управления 2-го типа, построенные на основе экспертных регуляторов, имитирующих действия человека-оператора в условиях неопределенности характеристик объекта и внешней среды относятся к **интеллектуальными системами управления** (intelligent control systems).

По скорости принятия решения, экспертные системы часто превосходят человеческие возможности. В связи с этим стало возможным создавать «активные» экспертные системы, которые не только принимают решения, советуют, но и активно участвуют в формировании управляющих команд. Благодаря программным и аппаратным возможностям УКУ, экспертные системы дают возможность самообучаться. Такие экспертные системы называют «открытыми».

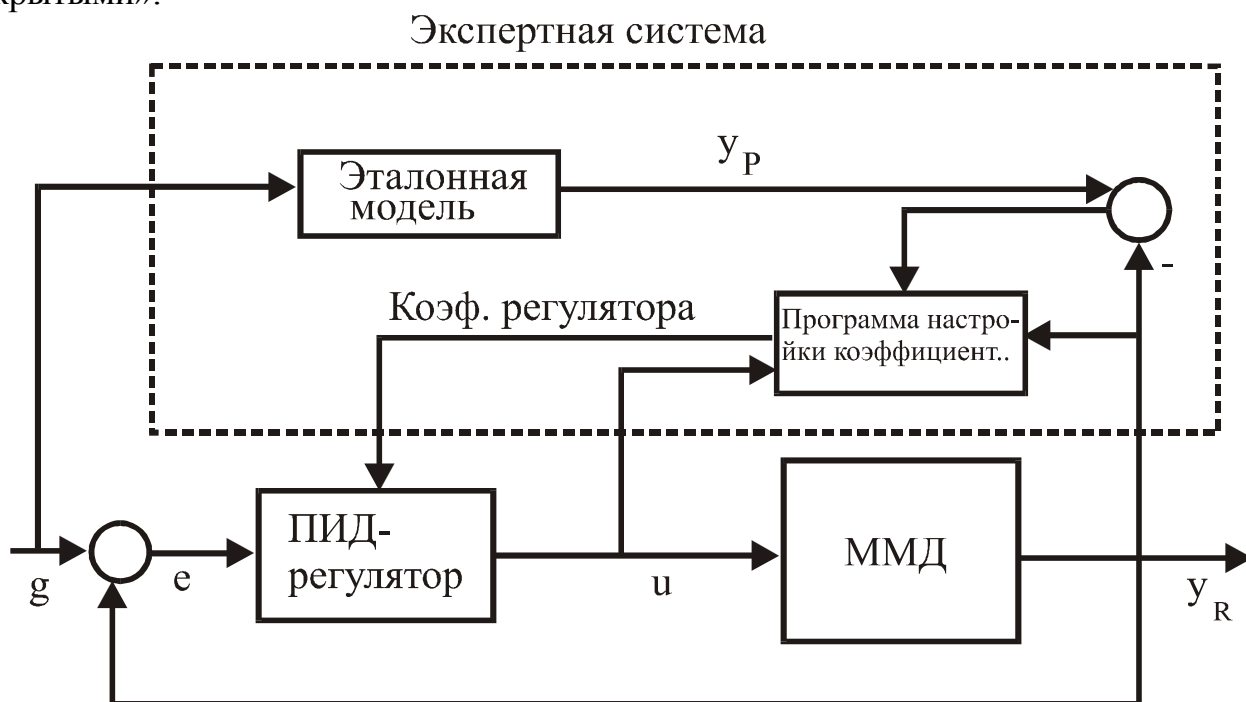


Рис.3.9. Экспертные системы с адаптивной настройкой регулятора

На исполнительном уровне управления в некоторых случаях экспертные системы выполняют роль интеллектуальной надстройки над пропорционально - интегрально-дифференциальным (ПИД) - регулятором, называемым на английском языке «*Proportional- Integral- Derivative (PID) regulator*». В этом случае они подстраивают его коэффициенты, в зависимости от возмущающих факторов и изменения состояния системы. Такие системы получили название экспертных регуляторов адаптивного интеллектуального управления. На рис.3.9 показана схема адаптивной системы настройки одного ПИД-регулятора с применением технологии экспертной оценки.

### 3.3.2. Технология нейросетевых структур

На основе моделирования работа мозга человека были созданы искусственные нейросети (ИНС). Применение ИНС дают возможность опознавать изображения, понимать человеческую речь, принимать наилучшие решения, самообучаться и выдерживать большие повреждения.

На рис.3.10 показана упрощенная модель биологического нейрона .

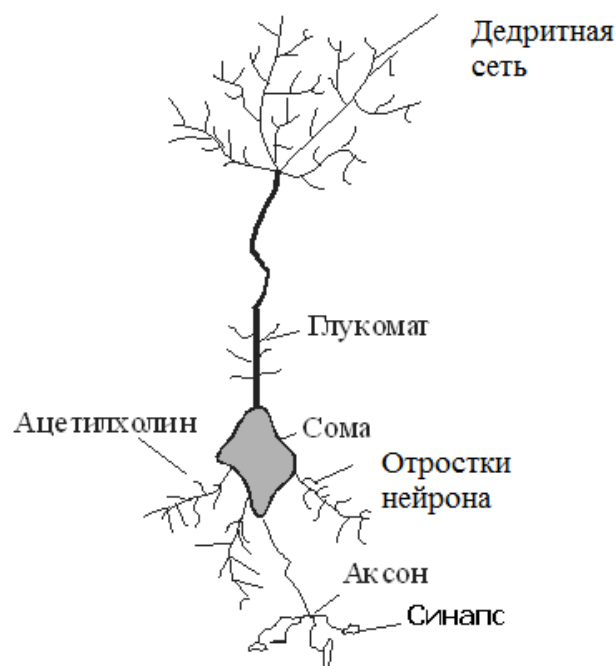


Рис.3.10 Модель биологического нейрона

Фактически нейрона входят:

- \* дендритная сеть, хранящая оперативную информацию;
- \* ганглийные отростки, служащие для приема звуковой и зрительной информации;
- \* сома, представляющее непосредственное тело

нейрона;

- \* отростки нейронов от других органов чувств;
- \* аксон, определяющий взаимодействие с другими

нейронами;

- \* синапсы, которые получают электрические сигналы от аксонов и передают их с помощью специального химического вещества нейромедиатора - дендриту другого нейрона. На одном дендрите может быть до 1000 синапсов.

Зрительные и слуховые сигналы также воздействуют через нейромедиатор глутамата на ганглийные отростки, а сигналы возбуждения с помощью ацетилхолина поступают на отростки нейрона.

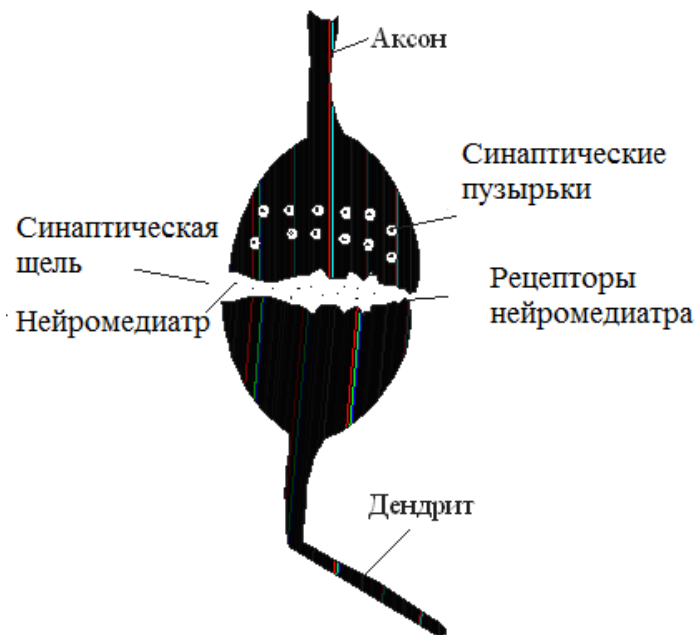


Рис.3.11 Прохождение сигнала в биологическом нейроне

На рис. 3.11 показан механизм прохождения нервного сигнала. Сигнал передается дендриту от аксона через синаптическую щель. Луковица синаптического окончания содержит множество пузырьков с нейромедиаторами. В том случае, когда потенциал электрического сигнала достигнет определенного уровня в синаптической щели образуется множество нейромедиаторов. Они поступают на рецепторы луковицы окончания дендрита. После их приема мембрана очищает синаптическую щель и подготавливает синапс к приему следующего сигнала. Процессы запоминания и обучения заключаются в изменении величины сигналов, передаваемых через синапсы. При изучении функции мозговой деятельности человека установлено, что синапсы делятся на возбуждающие и тормозящие. Сигнал проходит к нейрону, когда потенциал возбуждающего сигнала превосходит потенциал тормозящего сигнала. При совместном действии сигналов обоих видов повышаются избирательные функции органов чувств человека. Так как в процессе запоминания информации участвует большое количество нейронов, то отказ некоторой части нейронов не вызывает потерю информации. Нервная

система человека включает в себя от  $10^{10}$  до  $10^{12}$  нейронов 57 модификаций. При этом размерами нейроны могут быть от микрометров до нескольких сантиметров.

Математическая модель единичного нейрона представлена на рис.3.12.

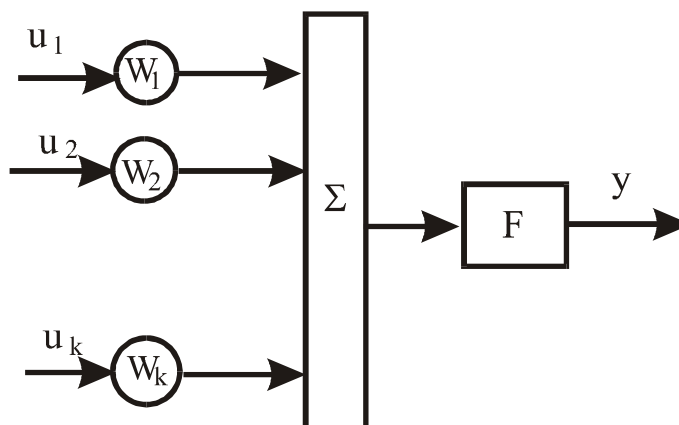


Рис.3.12. Модель единичного нейрона

Как следует из рис.3.12 входные сигналы  $u_1 \dots u_k$  поступают на сумматор  $\Sigma$ , где определяется их взвешенная сумма (с учетом весовых коэффициентов  $w$ ).

$$y = \sum_{i=1}^k u_i w_i$$

Выходной сигнал формируется на выходе нелинейного (в общем случае) блока. Для реализации нелинейного блока используются пороговые и экспоненциальные  $F$  функции. В нейросетевых моделях реализуемых на компьютерах, нейроны объединяются в сети создавая конструкции со многими слоями, с последовательными, параллельными, обратными и другими соединениями нейронов между собой. Искусственные нейросети отличаются своей архитектурой: структурой связей между нейронами (рис. 3), числом слоев, функцией активации нейронов, алгоритмом обучения. С этой точки зрения среди известных ИНС можно выделить статические, динамические сети и fuzzy-структуры; одно- или многослойные сети. Различия вычислительных процессов в сетях частично обусловлены способом взаимосвязи нейронов, поэтому выделяют следующие виды сетей:

- сети прямого распространения (feedforward) — сигнал по сети проходит только в одном направлении: от входа к выходу;
- сети с обратными связями (feedforward/feedback);
- сети с боковыми обратными связями (laterally connected);
- гибридные сети.

На рис. 3.14 показана однослойная сеть Е. Ойя с тремя базовыми нейронами и двадцатью четырьмя синапсами .



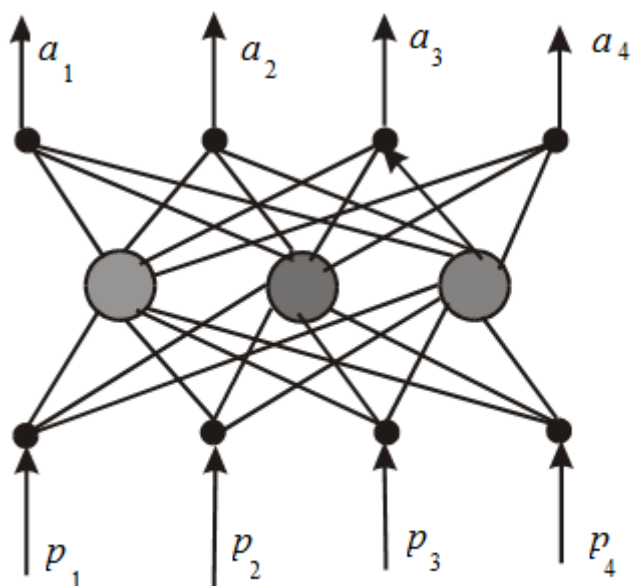


Рис.3.13 Однослойная нейросеть

Е.Ойя разработал правило, по которому значения входов  $p$  восстанавливаются по всей выходной  $a$  информации. Вообще нейронные сети обучаются разработчиками на конкретных примерах. При обучении вводится информация о входных и соответствующих (желаемых) выходных сигналах. Специальная программа обучения подбирает весовые коэффициенты  $w$ , чтобы соответствие входных и выходных сигналов выполнялось. Настроенная таким образом сеть может в дальнейшем использоваться и для других комбинации входных сигналов. Особенность метода нейронных сетей состоит в том, что разработчик не программирует четкий алгоритм решения задачи, только лишь задает входные и выходные данные для обучения. Проблемы применения конкретных нейросетей связано с выбором типа нейрона, количества слое и других параметров определяющих его структуру. Способность нейронных сетей выбирать наиболее важные признаки, обучаться по простым локальным правилам позволяют намного уменьшить количество обрабатываемой информации.

### 3.3.3. Технология нечетких систем

Многие системы нельзя представить набором ясных логических правил «если-то-иначе». Американский ученый Lotfi A. Zadeh для решения подобных задач разработал аппарат нечеткой логики. Нечеткая логика представляет методологию дискретного управления, имитирующая человеческое мышление с учетом характерных для физических систем таких свойств как неточность. Обычная бинарная логика оперирует только такими противоположными состояниями, как, например, «горячо - холодно», «закрыто - открыто», «быстро-медленно». Так, если под температурой  $40^{\circ}\text{C}$  понимать «горячо», а под температурой  $15^{\circ}\text{C}$  - «холодно». Куда отнести температуру  $28^{\circ}\text{C}$ ? Бинарная логика на этот вопрос не может дать однозначного ответа. Наоборот нечеткая логика имеет дополнительные приемы, такие как степень принадлежности, которая позволяет перейти к мягким градациям «тепло-прохладно». Так  $28^{\circ}\text{C}$  может с

определенной степенью принадлежности относиться как к «тепло» так и к «прохладно». В нечеткой логике используются такие понятия как степень членства, которая определяется доверием или уверенностью. Нечеткие системы вырабатывают свои решения в форме лингвистических переменных. Эти переменные обрабатываются правилами логики, в результате формируется один или несколько выводов. Нечеткая логика оперирует нечеткими множествами с помощью нечетких отношений. Особенность управления методом нечеткой логики заключается в том, что большое число переменных заменяется отношениями вход/выход. При этом соответственно уменьшается число правил и значительно ускоряется решение задачи.

В качестве примера рассмотрим автоматический регулятор скорости поезда построенный на принципах нечеткой логики [14]. Критерием для регулятора является оптимизация времени в пути при заданных ограничениях. В качестве входных данных приняты текущие характеристики скорости, ускорения, расстояния до места назначения. Регулятор должен управлять мощностью. Функция принадлежности присваивает переменным лингвистические значения. Например, скорости присвоены понятия «слишком медленно», «медленно», «оптимально», «быстро», «слишком быстро». Ускорению присвоены такие лингвистические понятия как «торможение», «постоянная скорость», «ускорение». Функцией принадлежности расстоянию от места назначения присвоены такие лингвистические понятия, как «очень близко», «близко», «далеко». И, наконец, по отношению к выходной переменной - мощности применены несколько понятий: «существенно снизить», «слегка снизить», «сохранять постоянной», «слегка увеличить», «существенно увеличить». В каждый момент входные переменные с определенным (доверием) весом от 0 до 1 характеризуются множеством входных параметров. В зависимости от этого получаются выходные параметры с определенной степенью доверия. Так, например, текущее состояние скорости определяется «быстро» с весом 0.8 и «слишком быстро» с весом 0.3. Текущее состояние ускорения определяется понятием «ускорение» с весом 1. Расстояние до пункта назначения соответствует «близко» с весом 0.8 и «очень близко» с весом 0.2.

Для управления в логике регулятора используется свод правил, некоторые из них имеют следующий вид:

- если скорость имеет значение «быстро», а ускорение значение «ускорение», то следует слегка «снизить мощность»;
- если расстояние до места назначения характеризуется понятием «очень близко», то следует существенно снизить мощность;
- если расстояние имеет значение «близко», то следует слегка снизить мощность и т.д.

В рассматриваемом случае, очевидно, что надо снизить мощность. Так, как расстояние «близко» с большим доверием, чем «очень близко», то видимо и «слегка снизить» будет с большим доверием чем «существенно снизить». Применение нечеткой логики обеспечивает принципиально новый подход к проектированию систем управления, "прорыв" в новые информационные

технологии, гарантирует возможность решения широкого круга проблем, в которых данные, цели и ограничения являются слишком сложными или плохо определенными и в силу этого не поддаются точному математическому описанию. Возможны различные ситуации, в которых могут использоваться нечеткие модели динамических систем:

- когда имеется некоторое лингвистическое описание, которое отражает качественное понимание (представление) процесса и позволяет непосредственно построить множество нечетких логических правил;
- имеются известные уравнения, которые (хотя бы грубо) описывают поведение управляемого процесса, но параметры этих уравнений не могут быть точно идентифицированы;
- известные уравнения, описывающие процесс, являются слишком сложными, но они могут быть интерпретированы нечетким образом для построения лингвистической модели;
- с помощью входных/выходных данных оцениваются нечеткие логические правила поведения системы.

Нечеткий контроллер, принцип действия которого при управлении основан на аппарате нечеткой логики, выполняет следующие основные операции:

- преобразование данных о состоянии системы в лингвистические термины нечеткой логики (фазификация), а также хранение и обработка нечеткой информации;
- выполнение нечетких выводов по лингвистическим правилам управления, заложенным в базу данных;
- перевод нечетких переменных (дефазификация) в четкие представления для управления МС.

На рис. показана структурная схема нечеткого регулятора на исполнительном уровне управления. Обозначения переменных на рис. даны ранее.

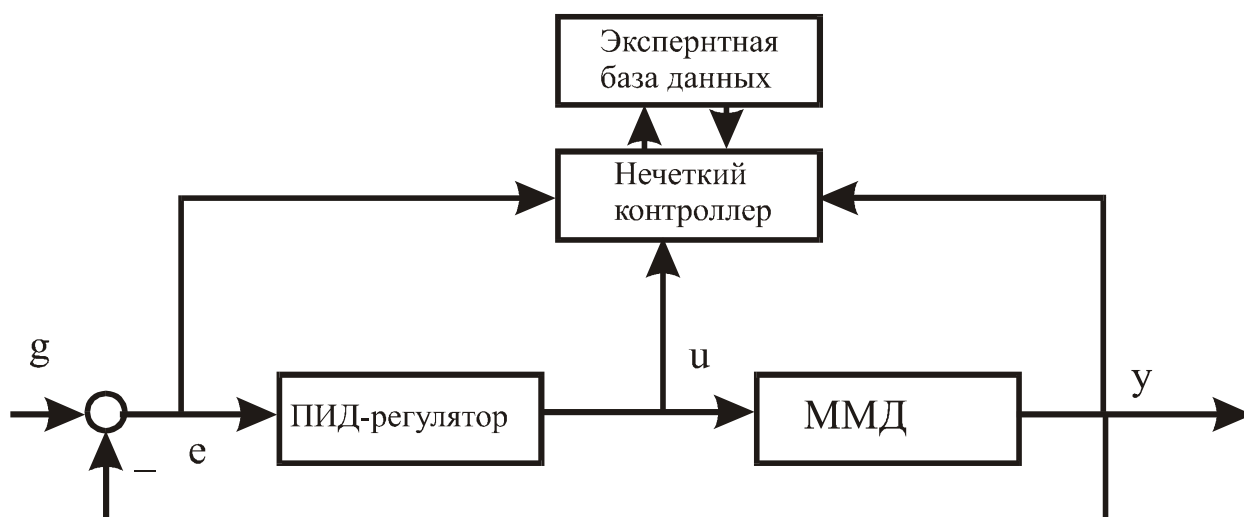


Рис.3.14.Схема применения нечеткого контролера

Наиболее распространенным для управления ММ на исполнительном уровне являются, как указывалось, ПИД - регуляторы. Эти регуляторы вырабатывает выходной сигнал, являющийся суммой трех составляющих, а именно: пропорционального регулирования, регулирования по интегралу и регулирования по производной. Известно, что алгоритм непрерывного ПИД-регулирования в наиболее общем виде описывается выражением

$$u(t) = u_0 + K \cdot \left[ e(t) + \frac{1}{T_0} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right],$$

где  $u_0$  - поправочное значение;  $K$  - коэффициент усиления регулятора;  $T_0$  - постоянная времени интегрирования;  $T_d$  - постоянная времени дифференцирования.

Для настройки параметров ПИД - регулятора может быть использован нечеткий контроллер с экспертной системой, блок-схема которого представлен на (рис.3.14). Нечеткая логика получила широкое применение при решении задач управления в Японии. Можно указать на множество примеров применения нечетких регуляторов, например, в автоматически фокусирующихся фотоаппаратах, стиральных машинах, лифтах и т.д. Однако ошибочно рассматривать нечеткие регуляторы как универсальное средство, применимое для управления любыми МС. Следует отметить, что имеется ряд проблем связанных с применением нечетких регуляторов, например, очень сложно доказать устойчивость этих регуляторов. Эти регуляторы не основаны на конкретной модели. Указанные проблемы ограничивают область применения нечеткой регуляторов для решения задач управления.

### 3.3.4. Технология применения генетического алгоритма

Эволюционная теория утверждает, что каждый биологический вид целенаправленно развивается и изменяется для того, чтобы наилучшим образом приспособиться к окружающей среде. В процессе эволюции многие виды насекомых и рыб приобрели необходимые свойства, человек стал обладателем сложнейшей нервной системы. Можно сказать, что эволюция - это процесс оптимизации всех живых организмов. Рассмотрим, какими же средствами природа решает эту задачу оптимизации. Основной механизм эволюции - это естественный отбор. Его суть состоит в том, что более приспособленные особи имеют больше возможностей для выживания и размножения и, следовательно, приносят больше потомства, чем плохо приспособленные особи. При этом благодаря передаче генетической информации (*генетическому наследованию*) потомки наследуют от родителей основные их качества. Таким образом, потомки сильных индивидуумов также будут относительно хорошо приспособленными, а их доля в общей массе особей будет возрастать. После смены нескольких десятков или сотен поколений средняя приспособленность особей данного вида заметно возрастает.

Генетический алгоритм - это простая модель эволюции в природе, реализованная в виде компьютерной программы. В нем используются как

аналог механизма генетического наследования, так и аналог естественного отбора. При этом сохраняется биологическая терминология в упрощенном виде (табл.3.1).

Таблица 3.1

Хромосома	Вектор (последовательность) из нулей и единиц. Каждая позиция (бит) называется геном.
Индивидуум генетический код	Набор хромосом = вариант решения задачи.
Кроссовер	Операция, при которой две хромосомы обмениваются своими частями
Мутация	Случайное изменение одной или нескольких позиций в хромосоме

Чтобы смоделировать эволюционный процесс, генерируется в начале случайная популяция - несколько индивидуумов со случайным набором хромосом (числовых векторов). Генетический алгоритм имитирует эволюцию этой популяции как циклический процесс скрещивания индивидуумов и смены поколений. Жизненный цикл популяции - это несколько случайных скрещиваний (посредством кроссовера) и мутаций, в результате которых к популяции добавляется какое-то количество новых индивидуумов. Отбор в генетическом алгоритме - это процесс формирования новой популяции из старой, после чего старая популяция погибает. После отбора к новой популяции опять применяются операции кроссовера и мутации, затем опять происходит отбор, и так далее.

Итак, если на некотором множестве задана сложная функция от нескольких переменных, то генетический алгоритм - это программа, которая за разумное время находит точку, где значение функции достаточно близко к максимально возможному. Выбирая приемлемое время расчета, мы получим одно из лучших решений, которые вообще возможно получить за это время.

Однако применение ГА в системах управления сдерживается тем, что существующие генетические алгоритмы используют бинарное кодирование вещественных хромосом, что усложняет обработку вещественной информации. Для поиска оптимального решения в пространстве вещественных чисел в предложено использовать представление хромосом в виде вектора вещественных чисел. Такое кодирование требует соответствующего определения генетических операций скрещивания и мутаций.

### 3.3.5. Гибридные технологии

В последнее время с ростом сложности решаемых задач все большее распространение получают гибридные технологии. Если учитывать, что во все технологии имеют в своем составе системы основанные на знаниях (экспертные системы), то можно выделить три базовые технологии: нейросетевую (НС), нечеткой логики (НЛ) и основанную на генетическом алгоритме (ГА). Эти технологии нашли широкое применение в распознавании образов и речи, в системах поддержки принятия решений в условиях неопределенности исходной информации, в задачах поиска при плохо формализованных параметрах и в системах управления техническими объектами и процессами. Современные интеллектуальные технологии должны обеспечивать надежное управление объектом в разных режимах его работы, быть устойчивым как к резким изменениям внешней среды, так и к деградации параметров системы управления, учитывать возможное наличие шумов и внешних непредусмотренных и непредвиденных влияний и, наконец, должно обеспечивать легкую адаптацию к новым объектам управления в случае их замены.

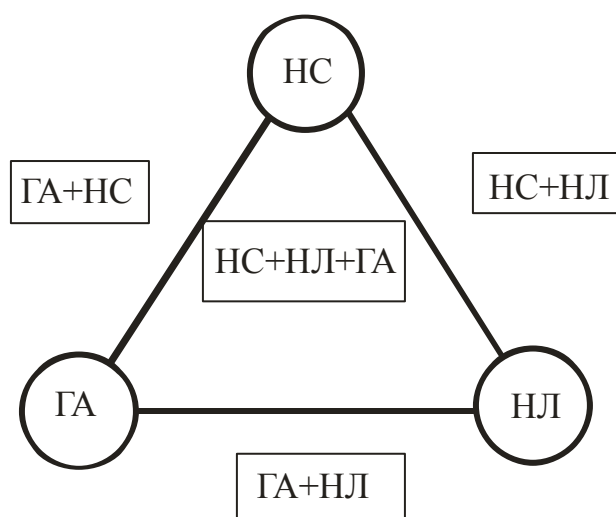


Рис.3.15. Гибридные технологии

Если существующие методы интеллектуального управления представить как вершины треугольника (рис.3.15), то стороны будут соответствовать комбинациям технологий : НЛ + ГА, НС + НЛ и НС + ГА. Наиболее полно гибридной является сложная интеллектуальная технологии составленные из всех базовых технологий, основанных на всех известных методах искусственного интеллекта.

### 3.4. Программное обеспечение систем управления

Реализация задач управления МС, как указывалось выше, осуществляется с помощью УК, которое объединяет в себе как аналитико-программные так и аппаратные средства. Аппаратные средства будут рассмотрены далее. Для успешного решения задач управления аппаратные средства должны обладать достаточными ресурсами, а аналитико-программное обеспечение должно давать

возможность эффективно использовать эти ресурсы. Программное обеспечение систем управления, в общем, зависит от решаемых задач и от вида аппаратных средств. В настоящее время не существует универсальных программных средств, применимых для управления техническими системами. Однако следует отметить, что Международной электротехнической комиссией (МЭК) проводится унификация программ управления с помощью контроллеров. Одним из таких программ является российская программа CoDeSys.

Вместе с тем можно указать на некоторые особенности программирования, свойственные программному обеспечению МС. Следует отметить, что программы являются носителями информации о том, как обрабатывать, преобразовывать исходные данные. Есть программы, которые управляют аппаратными средствами, например, операционная система. Однако основным, определяющим объектом в программном обеспечении систем управления МС является процесс. Под процессом здесь понимается некоторая абстрактная активность, по свойствам соответствующая общему определению процесса. Процесс состоит из кодов, области кода и данных, свободной динамически распределяемой области памяти - кучи и стека. Процесс - это непосредственная программа, исполняемая процессором, которая существенно зависит от архитектуры процессора. Одна и та же программа, написанная на языке высокого уровня имеет различные процессы при реализации на разных аппаратных средствах. В каждый момент времени описание содержимого регистров процессора, расположение областей данных, кода команд и стека имеет вполне определенное состояние, которое называют контекстом процесса. Частным видом процесса является поток. Эта часть программы (процесса) которая может независимо, параллельно исполняться даже на другом процессоре, но использует общую с процессом область данных. Процессы образуются из программ написанных на различных уровнях программирования в результате последовательности стандартных приемов, а именно:

- компиляции;
- связывания;
- загрузки;
- исполнения.

Обычные программы являются последовательными, так как последовательность действий регламентируется самой программой.

Особенность программного обеспечения системы управления МС в том, что она не является последовательной и должна удовлетворять требованиям программирования в реальном масштабе времени. При этом требования к программам следующие:

- логика исполнения программы определяется управляемой технической системой;
- программа воспринимает сигналы от внешней среды, поступающие через информационно-измерительную систему;
- программа функционирует в абсолютной и относительной временной среде и имеет жесткие временные ограничения;
- результатом выполнения программы является изменение состояния

внешней среды и внутреннего состояния МС;

- результат выполнений программы зависит от состояния внешней среды и внутреннего состояния МС и этот результат нельзя заранее предсказать;
- программа может прерываться, например, ждать поступления новых данных;
- программа должна управлять параллельными задачами.

Для эффективного решения задач управления применяются приемы параллельного программирования, мультипрограммирования и мультизадачности. Под параллельным программированием понимается разработка таких программ, которые могут исполняться параллельно вне зависимости от аппаратного исполнения.

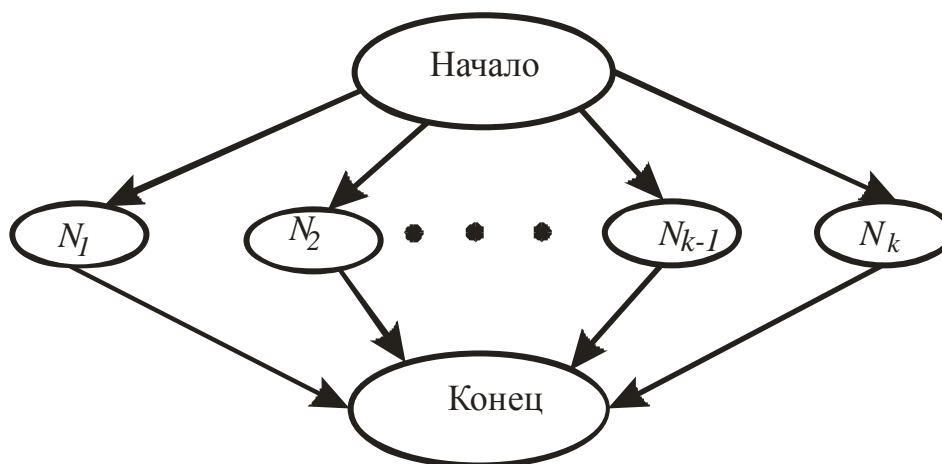


Рис.3.16. Очередность

В отличие от параллельного программирования мультипрограммирование или многозадачность представляют способ одновременного параллельного выполнения нескольких процессов. При этом мультипрограммирование может реализовываться на одном процессоре или же на нескольких образующих распределенные сети. На рис.3.16 показан граф очередности отображающий параллельность процессов при мультипрограммировании. Оператор «Начало» определяет порядок выполнения программ  $N_i$  ( $i=1, \dots, k$ ). Оператор «Конец» достигается, когда все программы отработают. При параллельном протекании процессов возможны два случая: во-первых, процессы могут быть взаимно независимыми; во-вторых, процессы могут быть взаимно связанными. В первом случае особых проблем не возникает, а во втором случае необходимо решение ряда специфичных проблем взаимного исключения и синхронизации и др.

Остановимся на возникновении проблемы взаимного исключения. Пусть два процесса  $A$  и  $B$ , протекающие параллельно, взаимно связаны таким образом что они должны иметь доступ к области данных  $D$ . При этом возможен случай, когда процесс  $A$  обновляет область данных  $D$  а процесс  $B$  считывает данные с области данных  $D$ . В таком случае возникает ситуация, когда процесс  $B$  считывает наряду с не обновленными данными и старые данные, что может



привести к ошибке. По этой причине необходимо исключить доступ процесса *B* к области процесса *D* до завершения обновления. Или, наоборот, исключить доступ процесса *A* к области процесса *D* до полного считывания данных процессом *B*. Таким образом решение проблемы заключается во взаимном исключении доступа к области *D*.

При параллельном функционировании нескольких процессов необходимо решать и проблемы синхронизации, чтобы упорядочить доступ к ресурсу. В этом случае доступ к ресурсу возможен лишь после того как он освободится от другого процесса. Синхронизация процессов решается с помощью «семафоров» и «событий». «Семафор» представляет метод, который обеспечивает доступ к защищенному процессу только одного процесса. Если процессы имеют доступ к общему ресурсу только при выполнении определенных условий, то для проверки выполнения этих условий и обеспечения очередности в доступе к общему ресурсу используется метод «событие».

Для обеспечения протекания параллельных процессов используется управляющая программа. Управляющая программа разбивает время центрального процессора на малые интервалы, называемые временные кванты. Управляющая программа распределяет выполнение нескольких процессов во временном интервале. Например, на рис. показано распределение времени процессора при параллельном выполнении 3-х процессов. При этом внешне создается впечатление, что все процессы выполняются одновременно.

Управляющая программа обеспечивает переход процесс из одного состояния в другое. Принято считать, что возбужденный процесс может принимать одно из трех состояний:

- готовность к выполнению (ready);
- выполнение (running);
- ожидание (waiting).

Центральная часть управляющей программы содержит основные функции управления параллельными процессами, обеспечивающая переход состояний процесса, управление последовательностью выполнения процесса, взаимные исключения, синхронизации. Для выполнения указанных функций ядро использует такие средства, как прерывание по временным квантам, ловушки, прерывание внешним сигналом. Ловушка представляет системное программирование предусмотренное на случай возникновения непредвиденных ситуаций, при попытке несанкционированных действиях процесса и т.д.

Программирование в реальном времени имеет не только свои средства решения задач, но и предъявляет специальные требования к языкам программирования и к операционной системе. Эти требования можно сформулировать следующим образом:

- предоставлять возможности для описания параллельных процессов;
- изменять состояние процесса;
- описывать методы синхронизации;
- иметь возможность описывает текущий процесс в абсолютном и относительном временном масштабе;
- давать возможность осуществления прямого доступа к внешним портам и другим аппаратным средствам;

- управлять взаимоисключением и прерыванием процесса.

Как указывалось ранее, до настоящего времени нет единого многоцелевого эффективного языка для управления МС в реальном масштабе времени. В качестве примера одного из универсальных языков можно указать на язык ADA. В зависимости от среды, т.е. от набора аппаратных средств, операционной системы (ОС) выбирается те или иные программные средства в некоторых случаях создаются специализированные ОС.

Следует отметить, что операционная система - это программный продукт для управления внутренними ресурсами компьютера, поддержки оборудования.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Для решения каких задач предназначена система управления.
2. Какова иерархическая структура системы управления.
3. Какие задачи решаются на интеллектуальном, уровне управления, приведите примеры.
4. Что называют пикселем цифрового изображения.
5. Какие задачи решаются на стратегическом уровне управления, приведите примеры.
6. В чем заключается планирование на тактическом уровне.
7. Что определяет профиль скорости, какова его размерность.
8. Приведите структурную схему системы управления на исполнительном уровне.
9. Какие методы искусственного интеллекта составляют интеллектуальное управление.
10. В чем заключается технология экспертных систем.
11. В чем заключается технология нечетких систем.
12. Покажите структурную схему нечеткого регулятора.
13. В чем заключается технология экспертных систем.
14. Покажите однослойную нейронную сеть.
15. В чем заключается технология использующая генетический алгоритм.
16. Что представляет гибридная технология.
17. Для чего предназначена операционная система.
18. Какие программы входят в процесс.
19. Каковы требования к программированию в реальном масштабе времени.
20. Объясните приемы параллельного программирования.
21. Объясните приемы мультипрограммирования.
22. Какие требования предъявляет программирование в реальном масштабе времени к языкам программирования и к операционным средам.

## ГЛАВА 4. СОСТАВНЫЕ МОДУЛИ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### 4.1. Человеко-машинный интерфейс

Человеко-машинный интерфейс или интерфейс пользователя является важным элементом СУ, и предназначен для обеспечения обмена информацией между оператором/пользователем и МС. Человек сталкивается с МС как разработчик и как пользователь. Цель разработчика МС в том, чтобы решить какой перечень оборудования может быть использован для данного интерфейса. Также разработчик готовит программное обеспечение, т.е. определяет набор команд, для обмена информацией оператора посредством оборудования интерфейса с МС. Оператор должен знать с чего начать, к чему стремиться, чего ожидать и как быстро разобраться в сложившейся обстановке чтобы адекватно управлять МС. Оператор в этой системе выступает в качестве пользователя, имеющего конкретные цели и задачи, которые он должен реализовать с помощью МС. В этом случае УК и вся мехатронная система является инструментом, для реализации поставленной цели. Успешное решение задачи зависит во многом от совершенства человеко-машинного интерфейса. Поэтому функции операторов по управлению МС должны быть также в поле зрения разработчиков интерфейса на стадии проектирования.

При проектировании интерфейса справедливы три основных принципа:

- простота;
- наглядность;
- последовательность.

При построении интерфейса пользователя стремятся, чтобы на дисплее отображалась модель системы. Простота обозначает, чтобы вместе с важными данными не выводились многочисленные второстепенные данные, которые лишь усложняют принятие решения оператором.

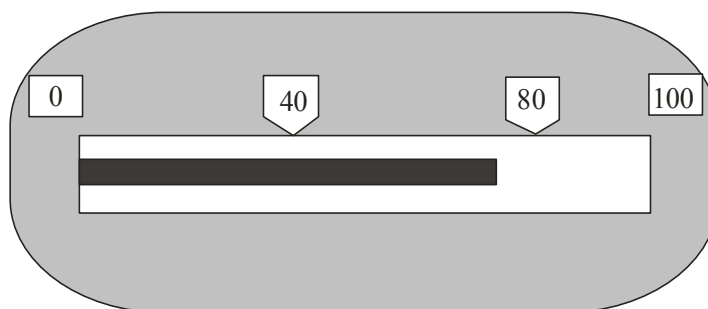


Рис.4.1. Пиктограмма

Наглядность имеет целью, чтобы пользователь имел ощущение прямого контакта и участия в происходящем процессе. В некоторых системах наглядность достигается с помощью графических метафор-пиктограмм. Изображение создает ассоциации, которые помогают пользователю, а не вводят его в заблуждение. Например, на пиктограмме (рис.4.1) изображается

шкала изменения температуры среды и на этой же пиктограмме отмечены допустимые пределы. В этом случае оператор наглядно видит, что изменение находится в заданных пределах или имеются отклонения. Последовательность означает, что для отображения подобных по функции информации применяются однотипные обозначения. Например, если клавиша <F10> используется для сброса команды, то эту клавишу нельзя использовать для загрузки драйвера устройств.

Применение в интерфейсе пользователя естественного языка во многом способствует обмену информацией между человеком и машиной.

В качестве оборудования для интерфейса пользователя применяются монитор, клавиатура, панели(щиты) управления, мыши, трэйкболы, джойстики, устройства дистанционного управления и т.д. В качестве оборудования с несовершенным интерфейсом можно указать на пульта имеющие большое количество кнопок, множество из которых редко используется. Такое множество кнопок лишь усложняет процесс управления и оправдано лишь с точки зрения производимого на покупателя эффекта. В качестве примера МС с совершенным интерфейсом можно привести банкомат. Интерфейс банкомата рассчитан на массового неподготовленного пользователя. Пользоваться банкоматом, представляющим сложную МС, исключительно просто.

## 4.2. Управляющие комплексы

Основным модулем управляющего комплекса является микропроцессор или центральный процессор (Central Processin Unit. CPU) для управляющего компьютера. В настоящее время в любой мехатронной технике, начиная от бытовой техники и кончая беспилотными самолетами, имеются микропроцессоры, которые регулируют, управляют движением и контролируют процессы в этой технике.

*Микропроцессором (МП) называют (Е. Узрюмов) построенное на одной или нескольких больших интегральных схем (БИС), сверхбольших интегральных (СБИС) программно-управляемое устройство, осуществляющее процесс обработки информации и управление им.*

Совокупность БИС и СБИС, которые могут совместно использоваться и входят в состав микрокомпьютера называют микропроцессорным комплектом (МПК).

Согласно принятой терминологии под микропроцессорной системой (МПС) понимают любую вычислительную, информационно-измерительную и управляющую систему, если для обработки информации в них используются МП.

По закону, открытому в 1965 известным ученым Гордоном Муром, производительность процессоров удваивается каждые полтора года при

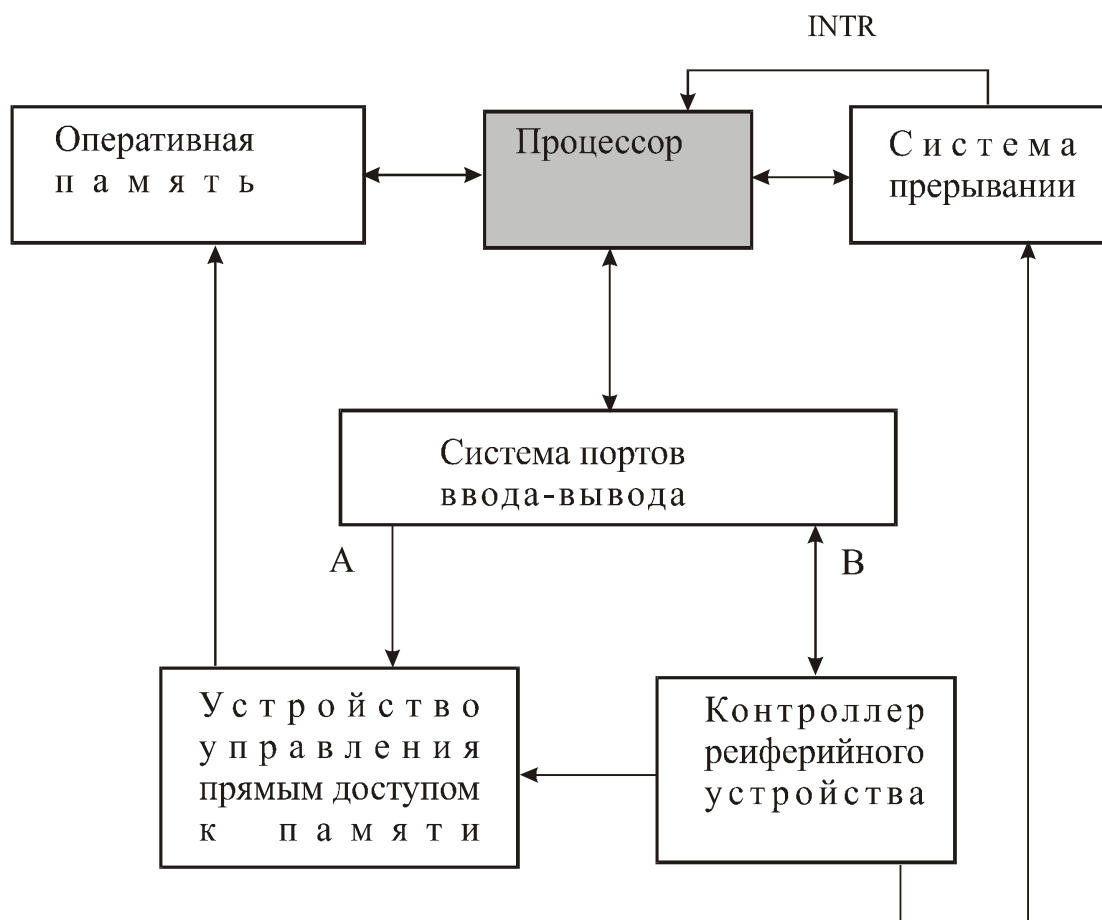
сохранении его стоимости. Под производительностью здесь понимается скорость обработки информации, определяемая тактовой частотой процессора. Применяются различные приемы для увеличения скорости обработки информации и степени интеграции микросхем. По причине постоянного изменения конструкции МП и технологии преобразования, хранения и передачи информации, здесь ставится задача дать лишь пояснение основных принципов работы МП и их взаимодействия с ИУ. Более расширенно аппаратные средства СУ мехатронных объектов рассматриваются в специальной литературе () и являются предметом изучения учебной дисциплины, называемой Системой управления мехатронных объектов (или различных технических систем).

Оказывается, что на примере взаимодействия CPU персональных компьютеров (PC) с такими устройствами памяти как винчестер, дисковод, а также с периферийными устройствами на примере клавиатуры, печатающих и других внешних устройств, можно изучить построение аппаратных средств систем управления МО. Каждое из названных устройств в совокупности с МПК, контроллерами, а также с информационно-измерительными устройствами и системами коммуникации представляют наглядный пример МО. Под МПК будем понимать совокупность процессора, запоминающего устройства и таких вспомогательных систем процессора как системы: ввода-вывода, прерываний, прямого доступа к памяти.

#### *4.2.1 Структура управляющего комплекса*

Для понимания назначения аппаратных систем управляющего комплекса системы управления, принципов функционирования и взаимодействия между собой различных аппаратных систем, выбрана некоторая гипотетическая модель управляющего комплекса имеющего упрощенную архитектуру. Тем, кто освоит данное устройство и принцип работы этой гипотетической модели управляющего комплекса будет в дальнейшем легче разобраться и изучить конкретный современный управляющий комплекс. Рассматриваемый здесь гипотетический управляющий комплекс [16] представляет МПК, который состоит из процессора, оперативной памяти, системы портов ввода-вывода, устройства управления прямого доступа к памяти, системы прерывания, контроллера периферийных устройств. Некоторые из этих устройств будут подробнее рассмотрены в дальнейшем по отдельности и во взаимодействии.

Процессором, в зависимости от выполняемых функций может быть CPU, МП, микроконтроллер (МК). Микроконтроллер представляет разновидность МПС ориентированной непосредственно на реализацию алгоритма управления техническими устройствами и технологическими процессами. Эту же функцию выполняют промышленные контроллеры и программируемые логические контроллеры. Однако МК, особенно серии PIC (Peripheral Interface Controller) имеют наибольшее распространение, так как являются недорогими и приме



няются в мехатронных объектах массового производства.

Рис.4.2. МПК

Оперативная память RAM (Random Access Memory) является разновидностью запоминающего устройства непосредственно взаимодействующая с процессором. Процессор записывает и считывает данные и команды из ячеек оперативной памяти. Информация в оперативной памяти не сохраняется после отключения питания.

Система портов ввода и вывода, особенно развитая в промышленных контроллерах и программируемых логических контроллерах, применяется для подключения к процессору периферийных устройств, через их контроллеры или адаптеры.

Устройства управления прямого доступа к памяти позволяет разгрузить процессор при управлении периферийным устройством. Как показано на рис.4.2 процессор подает сигнал через порт А на устройство управления прямым доступом к памяти, одновременно подается сигнал через порт В на контроллер периферийного устройства. В этом случае контроллер

периферийного устройства пересылает несколько байтов на устройство управления прямым доступом к памяти, а тот в свою очередь размещает эти данные в оперативной памяти, минуя процессор. Во время пересылок процессор может продолжать работать с оперативной памятью и обрабатывать команды.

Система прерывания позволяет процессору работать независимо от периферийных устройств. Прерывание вынуждает процессор прекратить

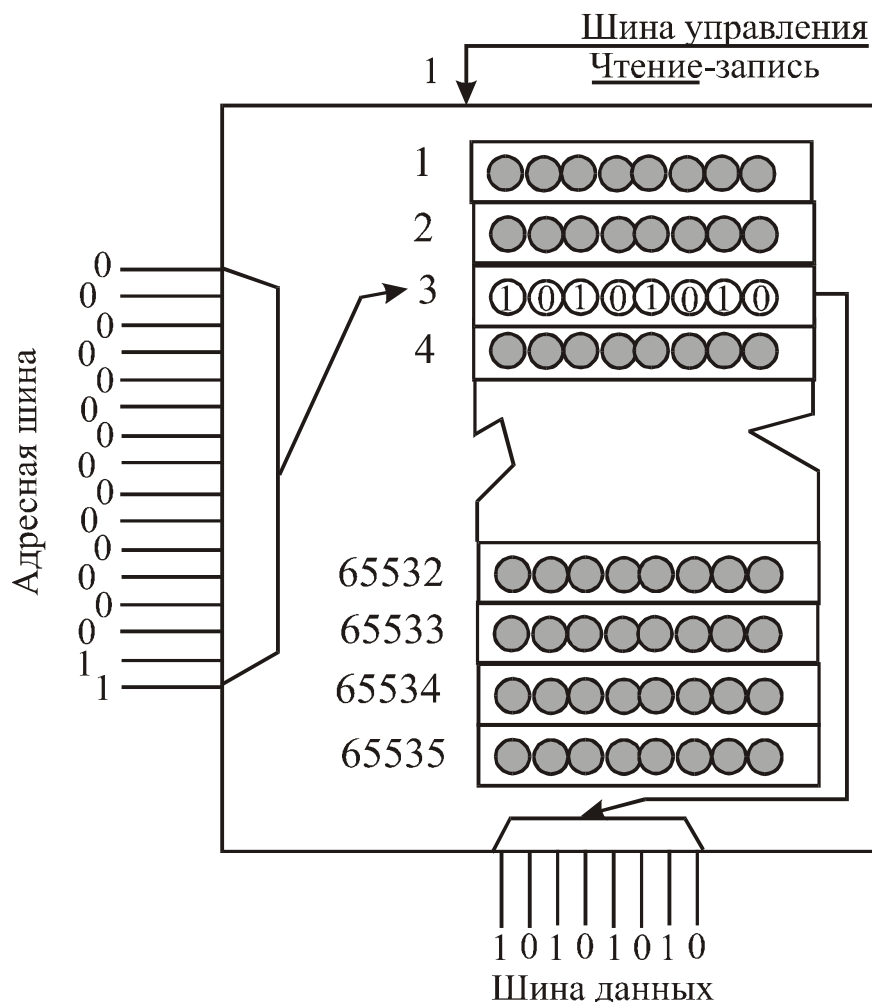


Рис.4.3. Считывание данных из запоминающего устройства

выполнение одной последовательности команд и перейти на выполнение другой, после чего процессор опять возвращается к продолжению первоначальной последовательности. Наличие этой системы обеспечивает управление периферийным устройством в реальном масштабе времени.

На (рис.4.2) контроллеры представляют электронные системы для управления на исполнительном уровне конкретным устройством. Они являются связующим звеном между процессором и устройством. Для «взаимопонимания» контроллера и процессора служат драйверы. Драйверы представляют программы обеспечивающие взаимодействие CPU с конкретными устройствами через его контроллер.

Различные модули комплекса управления соединяются посредством магистральных линий - шин. Под шиной понимается совокупность соединительных линий (проводников). Причем число линий определяет разрядность шин. Рассматриваемый управляющий комплекс имеет трехшинную структуру с шиной адреса (ША), данных (ШД) и шины управления (ШУ). Каждый компонент управляющего комплекса, ячейка оперативной памяти, порты ввода/вывода имеют свой адрес. По шине адреса передается адрес к конкретным устройствам. В этом случае процессор подключается к устройству, адрес которой находится на адресной шине и через шину данных обменивается данными с этим устройством. С помощью шины управления в процессор вводятся инструкции, например, записать (считать) информацию, готовность к приему (передаче) данных, управления контроллерами, аппаратного прерывания и т.д.

#### *4.2.2. Запоминающие устройства*

Запоминающие устройства являются одними из важнейших составных блоков управляющего модуля. Запоминающие устройства предназначены для хранения и обмена информацией с другими блоками. В памяти информация хранится в виде набора единиц и нулей. В качестве информации понимаются как данные, так и команды. В качестве данных могут быть целые числа, действительные числа, адреса, символы и т.д. Система команд используемых в конкретном процессоре ограничена. Примеров команд является, например. Команда переслать данные из одного регистра в другой, команды обращения к памяти, команды передачи управления, команды на арифметические и логические действия и т.д.

Запоминающие устройства подразделяются на 2 группы: непосредственно взаимодействующие с процессором и внешние. К устройствам памяти непосредственно взаимодействующими с процессором относятся:

- регистровые запоминающие устройства (регистры) процессора;
- кэш - память, служащая для хранения копии информации;
- основная память (оперативная, постоянная, полупостоянная).

Назначение и виды регистров процессора будут рассмотрены в параграфе, касающемся процессора. Запоминающее устройство называемое кэш-памятью введено для повышения быстродействия процессора. Кэш-память запоминает копии информации, передаваемых между процессором и основной памятью. В случае выполнения циклических действий многократно используются одни и те же информация. Наличие кэш - памяти освобождает процессор от повторного обращения к основной памяти, обращение к которой требует большего времени. Процессор считывает копию информации с кэш-памяти. Пока процессор обменивается информацией с более скоростной кэш-памятью, основная память освобождается для обмена информацией с устройством прямого доступа к памяти.

Оперативная память RAM (Random Access Memory) хранит данные, участвующие при обмене информацией с процессором при исполнении



текущей программы. Эта память является энергозависимой, т.е. информация исчезает при отключении питания. Аппаратно, оперативная память имеет дополнительную стековую область (стек). Стек представляет запоминающее устройство с последовательным доступом. В стеке информация считывается в определенной последовательности, т.е. в порядке обратном записи. Соблюдается правило LIFO (Last-in First-out)- последним вошел – первым вышел. Основная роль стека заключается в сохранении адресов возврата и состояния данных при прерываниях, при выполнении подпрограмм и т.д. Для хранения очередей данных используется буфер FIFO (First-in First-out)- первым вошел – первым вышел.

К основной памяти относится постоянное запоминающее устройство, называемое сокращенно ПЗУ или ROM (Read-Only Memory). ПЗУ хранит информацию, записанную изготовителем, содержимое ПЗУ нельзя изменить. И эта информация является энергонезависимой, т.е. не исчезает при отключении памяти.

К полупостоянной памяти относятся программируемые ПЗУ.

Внешняя память служит для хранения большого объема информации. Основные требования, предъявляемые к запоминающим устройствам, сводятся к увеличению объема хранимой информации, увеличению быстродействия, которое заключается в сокращении времени считывания, записи. Для решения этих задач совершенствуется структура памяти, применяются новые технологии повышения скорости обмена информацией (пакетный режим, чередование памяти, разбиение памяти на страницы, кэширование памяти, конвейерный метод считывания и т.д.).

Наряду с внешней памятью на магнитных дисках сейчас применяется Флэш - память, имеющая более скоростные средства записи и считывания информации. Характерной особенностью Флэш-памяти является ее высокая технологичность, компактность и надежность. Флэш-память эффективно заменяет запоминающие устройства на магнитных носителях, особенно когда информация не очень часто изменяется. Во Флэш - памяти информация изменяется не по регистрам, одновременно для всей памяти или большого блока. Таким образом, чтобы изменить одно слово, необходимо стереть и перезаписать весь файл или блок.

Каждая ячейка памяти содержит фиксированное число запоминающих элементов для хранения одного бита информации. Причем в вычислительных машинах фон-Неймановского типа в ячейках памяти могут храниться как данные, так и команды. Номер, составленный из определенного числа битов, ставящий в соответствие этому номеру конкретную ячейку памяти называется адресом данной ячейки. Формат адреса зависит от структуры памяти и архитектуры процессора. В запоминающих устройствах малой информационной емкости ячейки образуют матрицу. На рис.4.3 можно проследить процесс чтения информации из памяти. На шине управления (чтение-запись) процессором устанавливается 1, а на 16-разрядной адресной шине процессором помещается в двоичном коде адрес ячейки, с которого следует считать информацию. Этот адрес равен 3. Информация, находящаяся по указанному адресу помещается на 8-разрядную шину данных соединенную с процессором. Следует отметить, что на рис.4.3 не показаны такие устройства

памяти, как контроллер памяти, дешифратор, усилители записи-чтения, так как подробное описание устройств и функции этих устройств не является здесь обязательным для пояснения основ процесса записи-чтения.

Запоминающие устройства большой информационной мощности имеют более сложную структуру, представляющую банк матриц, 3-х мерные матрицы.

Сведения о параметрах адресов, связанные с архитектурой запоминающего устройства можно найти в технических документациях прилагаемых к аппаратным средствам управляющего комплекса.

#### *4.2.3. Архитектура процессора*

Микропроцессор в основном выполняет следующие функции:

- чтение и дешифровка команд из основной памяти (ОП);
- чтение информации из ОП и регистров контроллеров периферийных устройств;
- прием и обработка запросов и команд от контроллеров на обслуживание периферийных устройств;
- обработка информации и запись их в ОП и регистры контроллеров;
- выработка управляющих сигналов для синхронизации и управления всех узлов МП и вспомогательных интерфейсных устройств.

В общем, в состав МП входят компоненты (рис.4.4), которые можно разделить на три группы. В первую группу входят счетчик команд IP, регистр команд INST, регистр SP с указателем стека. Эта группа состоит из компонент, которые служат для обработки команд. Вторая группа состоит из арифметико-логического устройства (АЛУ), триггера переноса (С), регистров общего назначения (РОН). Следует отметить, что в некоторых случаях имеется отдельный сопроцессор, выполняющий функции АЛУ. Компоненты третьей группы объединяет то, что они используются для обработки данных. Третью группу компонент образуют дешифратор команд (DC), а также блок управления и синхронизации, блок управления прерыванием и блок управления последовательным вводом-выводом (БУС). Эти компоненты осуществляют взаимодействия и управляют работой МП.

Рассмотрим процесс взаимодействия гипотетического процессора с оперативной памятью. Как указывалось, процессор считывает данные из памяти и записывает информацию в память. Некоторые данные, считанные из памяти процессор интерпретирует как команды. В этом случае считанная команда вынуждает процессор производить конкретное действие. Как отмечалось, процессор различает команды и данные в отличии от памяти. В начале работы процессора размещение команд и данных в соответствующие регистры предусматривается программой записанной в ПЗУ разработчиками. Дальнейшее соблюдение различия между командами и данными обеспечивается программистом - пользователем.

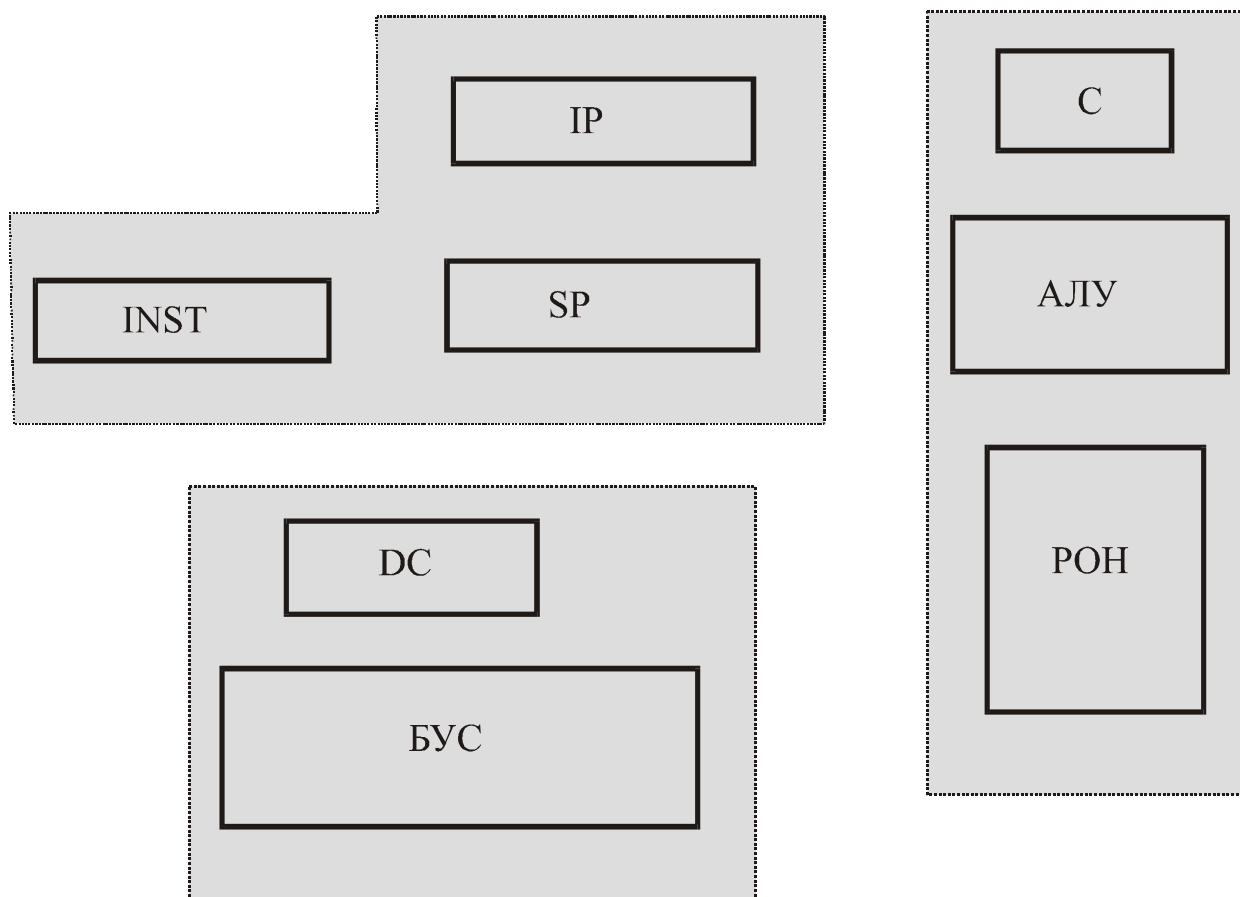


Рис.4.4 Структура МП

Процессор имеет так называемые регистры, представляющие ячейки подобные ячейкам для хранения данных в памяти. В отличие от ячеек памяти в регистрах процессор может манипулировать каждым из разрядов регистра по отдельности. На рис. 4.5 показаны регистр счетчика команд IP, регистр команд INST, а также регистры общего назначения: AX, BX, CX, DX. В свою очередь каждая из регистров общего назначения состоит из двух частей емкостью по 8 бит (один байт). Регистры общего назначения используются для временного хранения данных. Регистр команд используется для хранения и считывания данных интерпретирующих команды. В нашем случае показан регистр команд состоящий из 4-х байтов. Регистр счетчика команд имеет длину 16 разрядов (битов) и служит для хранения адреса некоторой ячейки памяти. После запуска процессора, т.е. после появления сигнала 1 на шине запуска, содержащаяся в начальном адресе команда (формируется изготовителем) переносится в регистр IP. Данные регистра IP представляют адрес первой команды. Выполняемые в дальнейшем действия процессора представляют циклический процесс, состоящий из двух этапов. На первом этапе процессор, используя адрес, находящийся в регистре IP, считывает из памяти очередную команду и помещает её в регистр команд INST. На втором этапе процессор анализирует помещенную в регистр INST команду, передает его в дешифратор и выполняет

её. Во время выполнения команды её длина в байтах обычно добавляется к содержимому регистра IP.

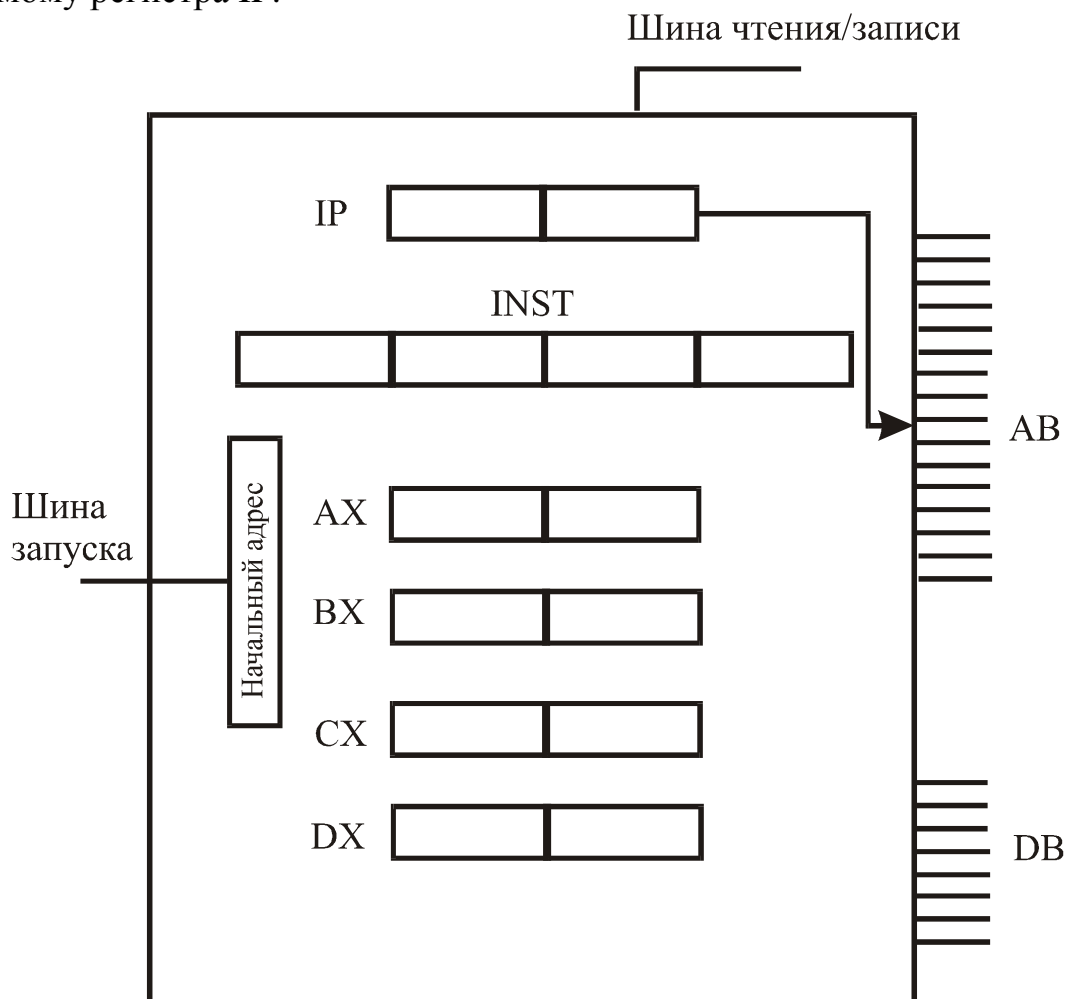


Рис.4.5. Процессор

В результате в регистре IP создается команда, к которой вновь обращается процессор и начинается первый этап следующего цикла. Последовательность выполняемых команд может быть изменена применением команды перехода.

#### 4.2.4 Современные управляющие комплексы.

Задачи управления требуют применения все более совершенных и более мощных компьютеров. В качестве примера можно указать на задачи распознавания окружающей среды, когда внешние объекты и МС являются подвижными по отношению друг к другу. Сейчас уже имеются беспилотные автомобили, движение которых во многом зависит от быстроты распознавания внешней среды.

Современные модели процессоров имеют возможность работы в многозадачном режиме. Сейчас получила развитие RISC-архитектура микропроцессоров, т.е. процессоров с минимальным числом команд. Такой МП работает необычайно быстро и способен выполнить любую из своих немногочисленных команд за один машинный такт, в то время как обычно на

выполнение простой операции требуется 4-5 тактов. Таким образом в 4-5 раз возросло быстродействие. И, наконец, нельзя не упомянуть о транспьютерах, содержащих в процессорном кристалле собственное ОЗУ от 2 до 16 кбайт и каналы связи с внешним ОЗУ и с другими транспьютерами. Теоретические возможности этих МП, реализующих алгоритмы параллельных вычислений, поражают воображение.

Применение методов искусственного интеллекта (нейросетевых структур) в логике компьютеров привели к созданию нейрокомпьютеров и нейропроцессор на основе нано-технологий.

Японские ученые- химики обнаружили, что в качестве переключателей можно использовать органическое соединение бактриодоксин. При воздействии на это веществ импульса испускаемого лазером, он изменяет свое состояние. В этой связи появилось новое научное направление названное молекулярная электроника. Перспективным направлением молекулярной электроники для повышения скорости переключений представляется предложенное американским ученым К. Ульмир использование методов генной инженерии. Он предложил способ упорядочивания перестройки белковых структур, подобных генным, и обладающих электрическими свойствами. Так как в  $\text{см}^3$  генного вещества содержится  $10^{21}$  информации, этот способ открывает новые горизонты в создании и развитии суперкомпьютеров. Применение вместо существующих микрокристаллических переключателей органических позволит повысить плотность записи до  $10$  бит/ $\text{см}^3$ , что на несколько порядков выше возможности человеческого мозга. Ведь человеческий мозг объемом  $750$  см можно записать информацию эквивалентную  $10^{12}$  бит.

### **4.3. Информационно-измерительные и коммуникационные системы**

Как указывалось выше, к важными и неотъемлемыми составными частям машин с микропроцессорным управлением относятся информационно-измерительные системы, а также коммуникационные системы, состоящие из комплекса технических средств, предназначенных для передачи информации.

#### *4.3.1. Информационно-измерительные системы.*

Информационно-измерительная система включает в себя датчики (сенсоры), систему технического зрения, а также интерфейсные устройства согласования сигналов.

По функциональным возможностям датчики делятся на аналоговые, цифровые и бинарные (рис.4.5). Аналоговые датчики преобразуют измеряемую величину в аналоговые сигналы. Цифровые датчики генерируют последовательность дискретных сигналов. Бинарные датчики вырабатывают сигналы лишь двух уровней, соответствующих «включено/выключено».

По назначению датчики принято делить на датчики внутреннего и внешнего состояния. Датчики внутреннего состояния предназначены для

контроля и измерения параметров управляемого технического процесса. К этим датчикам относятся, например датчики положения и движения, по которым управляется движение исполнительных устройств МиРС. Также к датчикам внутреннего состояния относятся контактные датчики давления (тактильные датчики), силомоментные датчики установленные непосредственно на рабочем органе, например, робота.

К датчикам положения и движения относятся, например, потенциометры, тахометры. Потенциометр -это датчик, преобразующий механическое перемещение в напряжение постоянного или переменного тока. Тахометр позволяет определить скорость движения, например выходного вала ММД.

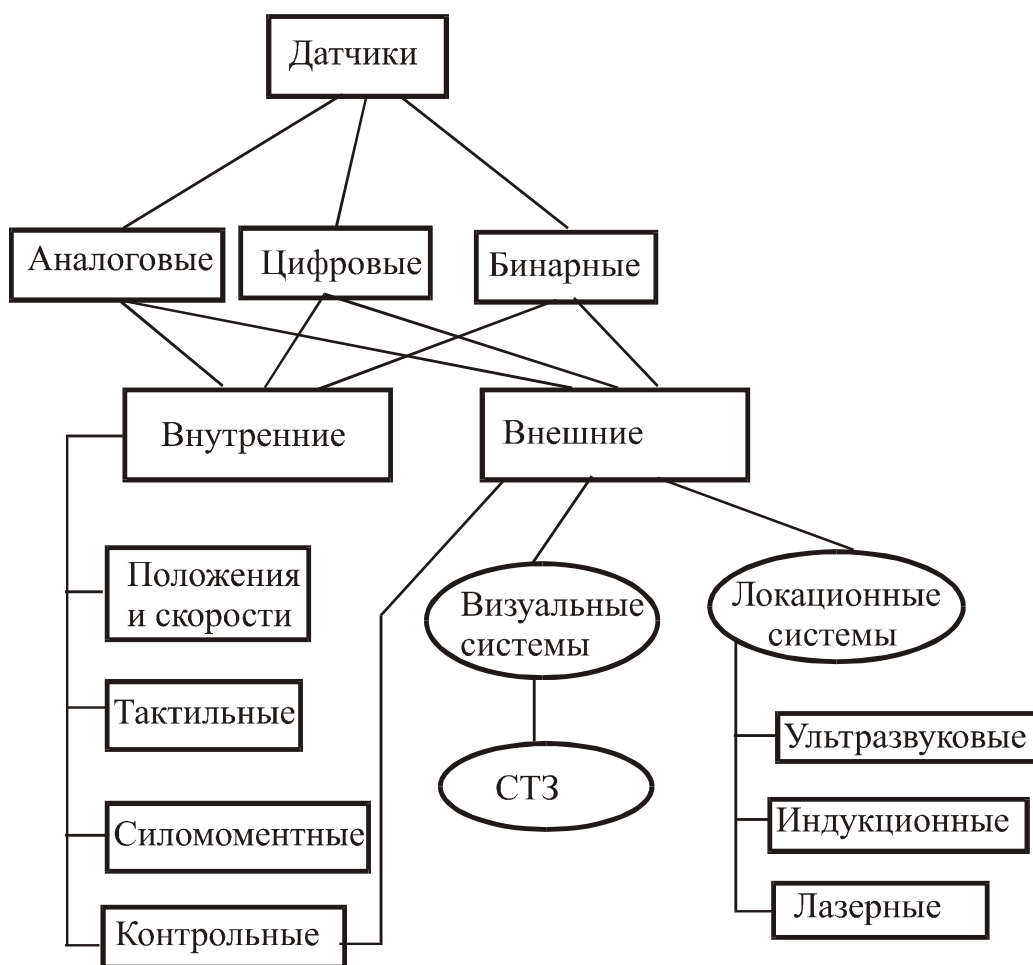


Рис.4.6. Классификация датчиков

Контрольные датчики могут представлять датчики температуры, давления, акселерометры и т.д. Благодаря этим датчикам подается информация о экстремальном внутреннем и внешнем состоянии мехатронной системы, осуществляется аварийная блокировка.

Внешние датчики, используются для получения информации о внешнем состоянии системы. Эти датчики образуют визуальные и локационные системы. К визуальным системам относится система технического зрения (СТЗ) (см. п.3.2.1.). Для получения зрительной информации обычно

используются устройства монокулярного или бинокулярного искусственного зрения.

Локационные датчики используются для измерения расстояния до объектов внешней среды, для навигации и обхода препятствий, для установления местоположения и формы объекта. В зависимости от принципа действия локационных устройств, эти системы можно разделить ультразвуковые, индукционные, лазерные и др.

#### 4.3.2. Коммуникационные системы

Коммуникационные системы представляет совокупность технических средств предназначенных для перемещения информации в пространстве. Через коммуникационные средства информация о внешнем и внутреннем состоянии системы передается на управляющий процессор, а управляющие сигналы от него к системе управления исполнительного уровня. Передача данных осуществляется по электрическим, оптическим каналам или радиоканалам связи.

Основным параметром, описывающим коммуникации, является пропускная способность канала, т.е. количество информации, которое можно передать за единицу времени. Пропускную способность измеряют обычно в бит/с. Пропускная способность канала зависит от полосы пропускания канала, уровня шума и применяемого способа кодирования информации. Полоса пропускания канала измеряется в Гц. и представляет диапазон частот, который способен передавать канал с определенным максимальным затуханием. Например, полоса пропускания телевизионного составляет 5.5 МГц. Помехи (шумы) отрицательно влияют на передачу данных. Важной характеристикой. Учитывающей влияние шума является отношение средней мощности сигнала и шума ( $S/N$ ), выражаемая логарифмических единицах – децибелах [дБ]. Известна формула Шенона, согласно которой пропускная способность канала  $R_{max}$  [бит/с] с полосой пропускания  $W$  определяется соотношением

$$R_{max} = W \log_2(1 + S/N).$$

Как указывалось, пропускная способность канала зависит также от способа кодирования информации. Известны два основных способа кодирования битовой последовательности при передаче информации по физическим каналам связи:

- непосредственный способ посылки бит;
- передача модулированного по амплитуде, частоте или фазе сигнала.

При этом некоторые приемы непосредственного способа посылки информации являются более предпочтительными.

На практике скорость передачи информации повышают за счет увеличения полосы пропускания канала.

Для передачи данных для физических каналов связи применяются витая пара, коаксиальный кабель и оптоволоконный кабель.

Для коммуникационной системы важное значение имеет «совместимость» при взаимодействии различных коммуникационных систем и других технических средств автоматизации. В целях упорядочивания коммуникационных систем разработана эталонная модель взаимодействия открытых систем (ВОС). На базе модели ВОС разработаны ряд коммуникационных стандартов. Так, например обмен информации в автоматизированном производстве осуществляется на основе протокола автоматизации производства МАР (Manufacturing Automation Protocol) и протокола автоматизации учрежденческой деятельности ТОР (Technical and Office Protocol). Основные цели, которые преследуют МОР и ТОР – это создание универсальных коммуникационных систем предоставляющих возможность взаимодействия между собой различных систем и их взаимозаменяемость. В архитектуре ТОР на физическом и канальном уровне используется при передаче данных метод доступа Ethernet.

Для компьютерного управления техническими средствами важное значение имеет развитие техники локальных вычислительных сетей, а также применение гибкого и стандартизованного коммуникационного оборудования.

#### 4.4. Исполнительные устройства. Мехатронные модули движения.

Исполнительные устройства в МС предназначены для получения требуемого механического движения. Ниже рассматриваются исполнительные устройства представляющие модуль МС, состоящие из системы управления (СУ) и информационно-измерительной системы (ИИС) относящихся к исполнительному уровню, из источника, аккумулирующего механическую энергию (Д), а также дополнительных механических устройств в виде муфты, тормоза (М) и передаточного механизма (ПМ) (рис.4.7). Указанное исполнительное устройство называется мехатронным модулем движения (ММД).

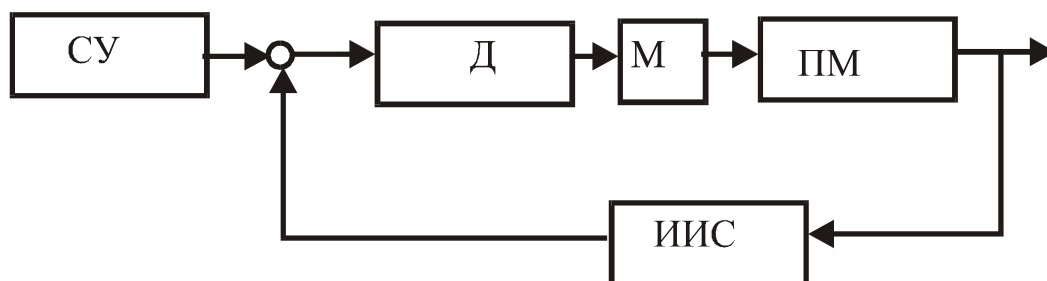


Рис.4.7. Структура мехатронного модуля движения

Структурно ММД может быть как в составе МС, так и использоваться самостоятельно в составе других технических устройств и различных машин.



В отношении разнообразных терминологических понятий встречающихся в литературе, следует отметить, что управляемые и исполнительные приводы, сервоприводы, сервомеханизмы, следящие приводы – все они имеют признаки характерные для ММД, поэтому могут быть с полным основанием отнесены к ММД.

ММД являются базовыми функциональными элементами МС, которые определяет свойства и возможности всей МС. Естественно, что на современном уровне развития общества и в связи с высоким уровнем технического прогресса к МС в целом и к ММД в частности, как представителям области высоких технологий, предъявляются повышенные требования по различным показателям. Так, например, ММД должны работать в условиях переменных динамических характеристик (моменты инерции, нагрузки). В то же время они не должны реагировать на возмущающие факторы. В условиях больших динамических нагрузок ММД должны обеспечивать демпфирование этих нагрузок. Важным требованием предъявляемым к ММД является то, что он должен иметь высокое отношение мощности к массе. Снижение общей массы и размеров является тенденцией характерной для ММД. Так как ММД аккумулирует механическую энергию, в результате которого выполняется управляемое движение, то к ММД предъявляются такие требования как быстродействие, плавность движения, повышенная нагрузочная способность, отсутствие вибраций. С точки зрения эксплуатации ММД должны обеспечивать заданную точность движения, не должны быть источниками повышенного шума, быть удобными и безопасными в эксплуатации. Исходя из требования конъюнктуры рынка ММД должны иметь низкую стоимость, соответствующий дизайн, иметь удобный человеко-машинный интерфейс.

На практике встречается множество ММД различного назначения, отличающиеся по многим признакам. Основным отличительным признаком является источник, аккумулирующий механическую энергию. По этому признаку ММД делятся на пневматические, электрогидравлические и электрические. В состав некоторых МС могут одновременно входить разные по этому признаку ММД, а также микроприводы. Остановимся более подробно на каждом из этих ММД.

#### *4.4.1. Пневматические ММД.*

В пневматических ММД источником, аккумулирующим механическую энергию являются пневмодвигатели линейного (пнеumoцилиндры) и вращательного движения (поворотные пневмодвигатели). Областью применения электропневматических ММД является промышленная робототехника, приводы с небольшими требованиями по точности, а также приводы двухпозиционных механизмов (клапаны, захваты) и простейшие производственные автоматы. В состав пневматических ММД могут входить для непосредственного исполнения механического движения: пневмоцилиндры одностороннего и двухстороннего действия, неполноповоротные

пневмодвигатели, пневмомоторы, мембранные камеры и др. В качестве вспомогательных устройств для управления и функционирования двигателей входят: распределительная аппаратура, различные пневмоклапаны, пневмодроссели, индикаторы и реле давления, аппаратура для подготовки воздуха и др. Для управления пневматическим ММД может использоваться модуль микропроцессорного управления, а также система управления основанная на струйной автоматике. На (рис. 4.8) представлена схема показывающая принцип действия пневматического ММД. Положение штока пневмоцилиндра измеряется потенциометром (П), сигнал от которого подается к сервоусилителю (СУ) питающемуся от источника питания (ИП). Сервоусилитель подает сигналы на сервораспределитель (СР), управляющий подачей воздуха в пневмоцилиндр.

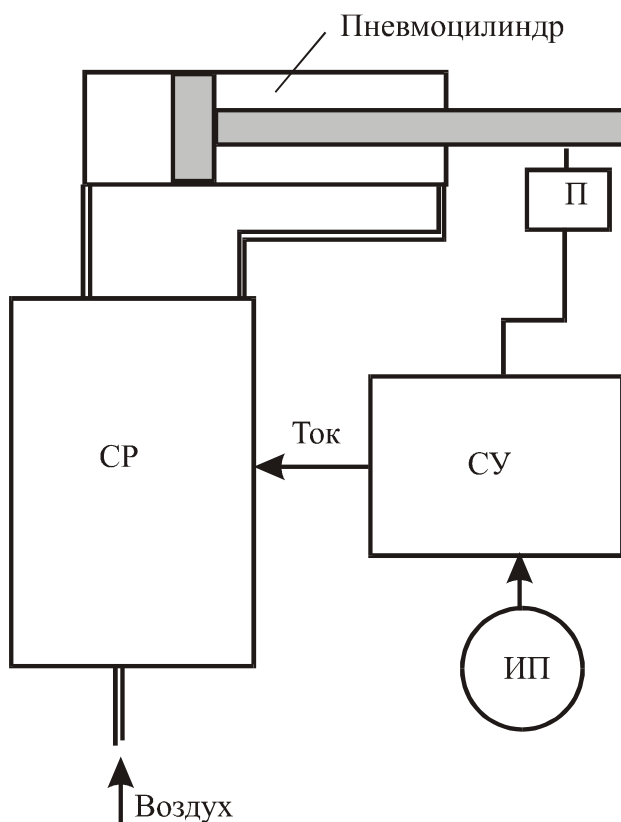


Рис.4.8. Схема пневматического ММД

Основными достоинствами пневматических ММД является:

- быстрое действие;
- возможность управления силой на выходе;
- простота конструкций, не требующая дополнительных механических передач;
- простота в эксплуатации;
- пожаро- и взрывобезопасность;
- возможность применения струйной автоматики.

Однако существуют причины ограничивающие применение пневматических ММД. Пневматические ММД имеют ряд существенных

недостатков и главное из них то, что из-за сжимаемости воздуха нельзя получить движение и позиционирование с заданной точностью. Кроме того, пневматические ММД имеют низкую выходную мощность на выходе, что обусловлено низким рабочим давлением, не могут обеспечить плавности движения, требуют наличия устройства для подготовки воздуха. Тем не менее, в будущем, возможно, могут быть созданы устройства и элементы пневмоавтоматики для расширения области применения пневматических ММД.

#### 4.4.2. Электрогидравлические ММД.

В электрогидравлических ММД в качестве источника аккумулирующего механическую энергию применяются гидродвигатели линейного (гидравлические цилиндры) и вращательного движения (поворотные гидродвигатели и гидромоторы). Основы теории электрогидравлических ММД достаточно подробно изложена в работе В.Ф. Казмиренко [6]. Сведения о гидроприводах промышленных роботов содержатся в справочнике Ю.В. Козырева [17] и другой технической литературе.

Электрогидравлические ММД представляют сложную систему, поэтому ниже рассмотрена лишь кратко структура, принцип действия и отличительные особенности электрогидравлических ММД. Исполнительная часть электрогидравлических ММД или силовая часть состоит из гидродвигателей с объемным и дроссельным регулированием, распределительных устройств, предохранительных клапанов, фильтров, гидронасосов и других вспомогательных устройств. Структурно функциональная схема электрогидравлических ММД представлена на [6]. Входной сигнал  $u$ , поступивший от иерархически выше расположенной системы управления передается на управляющую систему (УС) исполнительного уровня. Затем этот сигнал проходит через устройства сравнения (ИУ) программного сигнала и информации с датчика усилия (ДУ) и в виде напряжения  $U$ , подается через устройство сравнения информации (ЭУ) от датчиков скорости (ДС), положения (ДП) и после усиления поступает в виде напряжения на следующее устройство (ЭГУ/МУ). Это устройство является электронным или механическим преобразователем электрических сигналов в адекватный поток жидкости с расходом, предназначенным для регулирования гидропривода (ГП).

Блок гидропривода состоит из устройств объемного или дроссельного регулирования (Н/ДР) и гидродвигателя (ГД) развивающего обобщенную силу ( $Q_d$ ). Гидродвигатель может воздействовать на механический преобразователь (МП) или непосредственно на объект регулирования (ОР). Дополнительно на рис.4.9 показано входы от внешнего источника питания и обобщенная сила, действующая на механический преобразователь.

Для регулирования потока жидкости подаваемой на гидродвигатели, используют насосы с объемным управлением и дросселирующие распределители. Насосы с регулируемым рабочим объемом представляют

аксиально-поршневые пространственные механизмы. Дроссельные распределители применяются двух типов: золотниковые для гидроприводов большой мощности и струйные. Гидроприводы дроссельного управления с гидронасосом постоянного объема применяются обычно при малых мощностях. В случае больших и сверхбольших нагрузках и мощностях применяются гидроприводы дроссельного регулирования с насосом переменной регулируемой емкости.

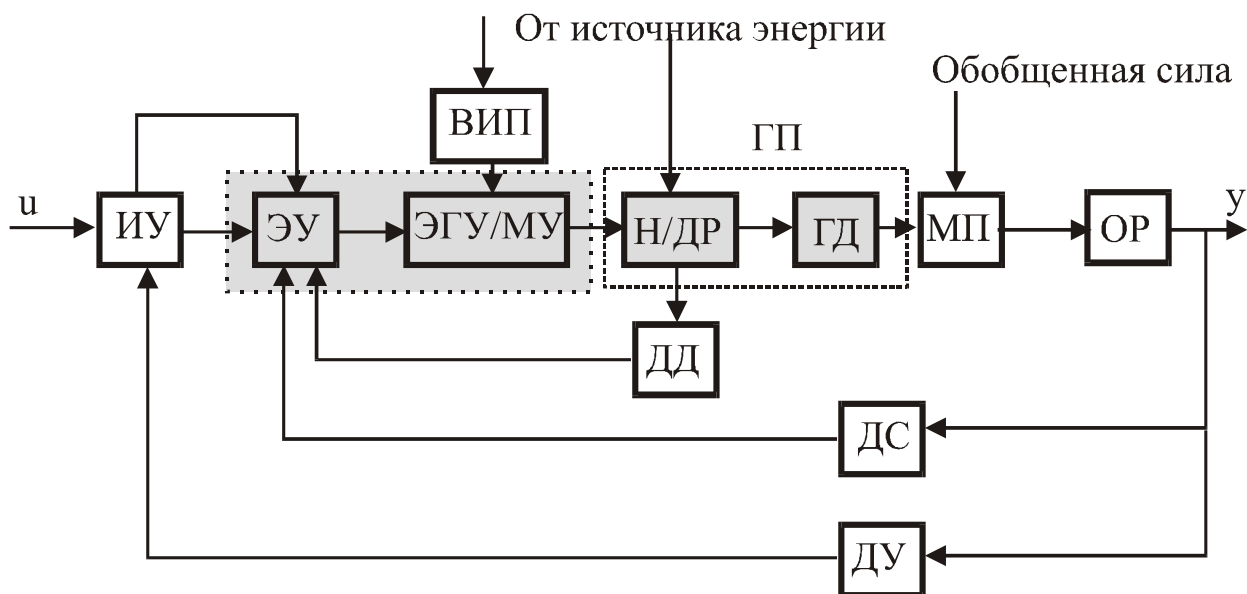


Рис.4.9. Электрогидравлический ММД

Электрогидравлические ММД имеют следующие достоинства:

- высокая энергоемкость;
- быстродействие;
- простота конструкции и возможность применения агрегатно-модульного принципа при конструировании и сборке;
- жесткость статических нагрузочных характеристик из-за свойства малой сжимаемости рабочей жидкости;
- не требуются механические преобразователи движения, снижающие к.п.д. системы.

Однако электрогидравлические ММД имеют ряд существенных недостатков, а именно:

- требуют применения специальных источников, из которых должна поступать рабочая жидкость (насосная станция, гидрорезервуары);
- свойства жидкости (вязкость) зависят от температуры. Так, например, при работе ММД жидкость нагревается и его свойства изменяются, что влияет на динамические характеристики системы в целом.

- Имеет место утечка рабочей жидкости, создающая проблемы экологического характера, а также влияющая на эксплуатационные характеристики ММД.
- Наличие прецизионных пар предъявляют высокие требования по точности для изготовления вспомогательных устройств (золотников, гидроцилиндров и т.д.).

Тем не менее, имеются множество областей, где электрогидравлические ММД имеют явные преимущества по сравнению с другими, например, при высоких нагрузках более 10 кВт, для работы во взрывоопасной среде. Гидроприводы применяют для промышленных роботов, обслуживающих оборудование, которые работают на гидроприводах. Тем самым достигается унификация оборудования по источнику аккумулирующему механическую энергию.

#### *4.4.3. Электромеханические ММД*

В МС применяемых в различных областях наиболее широкого применения нашли электромеханические ММД. Это объясняется тем, что эти ММД по сравнению с указанными выше ММД, имеют меньшую стоимость, простую конструкцию, низкий уровень шума, а также высокую надежность. Электромеханические ММД входят в состав МС или могут представлять самостоятельную систему. В некотором смысле структура электромеханических ММД повторяет представленную выше структур МС. В состав электромеханических ММД входят электрический двигатель, который через механический преобразователь движения (редуктор, или другие виды передач) воздействует на исполнительный механизм или непосредственно на рабочий орган. Для управления электрическим двигателем и ММД в целом имеется МПС система управления, а также информационно-измерительная система. Для обеспечения работы ММД в его состав входят источник питания как для СУ так для питания электрического двигателя. По электрическим параметрам ММД делятся на две группы ММД с электродвигателями переменного тока и постоянного тока [18]. Классификация ММД по этим признакам следует из схемы приведенной на рис.4.10. Здесь введены следующие обозначения для электродвигателей:

- 1- магнитоэлектрические, в которых магнитные поля создаются постоянными магнитами;
- 2- электромагнитные с независимым возбуждением, в которых обмотка возбуждения питается от отдельного источника;
- 3- электромагнитные с параллельным возбуждением, в которых якорь и обмотка возбуждения параллельно соединены с одним источником питания;
- 4- электромагнитные с последовательным возбуждением, здесь якорь обмотка возбуждения последовательно подсоединены к источнику питания;

- 5- электромагнитные со смешанным возбуждением, где применяются обе схемы соединения якоря и обмотки возбуждения с источником питания;
- 6- с короткозамкнутым ротором;
- 7- с фазным ротором;
- 8- электромагнитные;
- 9- магнитоэлектрические;
- 10- явно полюсные (несимметричные в магнитном отношении)
- 11- неявнополюсные- симметричные в магнитном отношении.

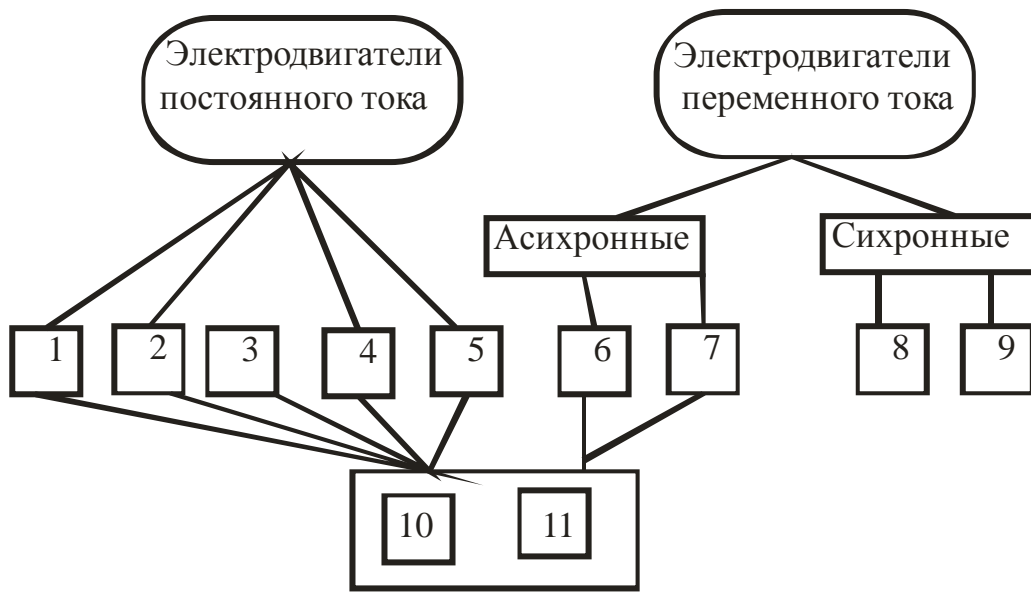


Рис.4.10. Классификация электромеханических ММД

Для управления ММД между источником питания и электрическим двигателем вводится устройство, называемое силовым преобразователем. Силовые преобразователи по принципу действия делятся на следующие группы:

- широтно-импульсные преобразователи (ШИП);
- управляемые выпрямители (УВ);
- неуправляемый выпрямитель (В);
- автономные инверторы (АИ);
- неосредственные преобразователи частоты (НПЧ).

Базовые схемы соединения источника питания и электрических двигателей через различные силовые преобразователи приведены на рис.4.11.

Функционально ШИП преобразует постоянное напряжение питания в постоянное регулируемое напряжение на выходе.

Управляемый выпрямитель преобразует переменное напряжение с частотой  $f = 50$  Гц. в постоянное напряжение.

Автономный инвертор преобразует постоянное напряжение в переменное напряжение с регулируемой частотой.

Непосредственный преобразователь частоты преобразует переменное напряжение с частотой  $f = 50$  Гц. в переменное напряжение с регулируемой частотой.

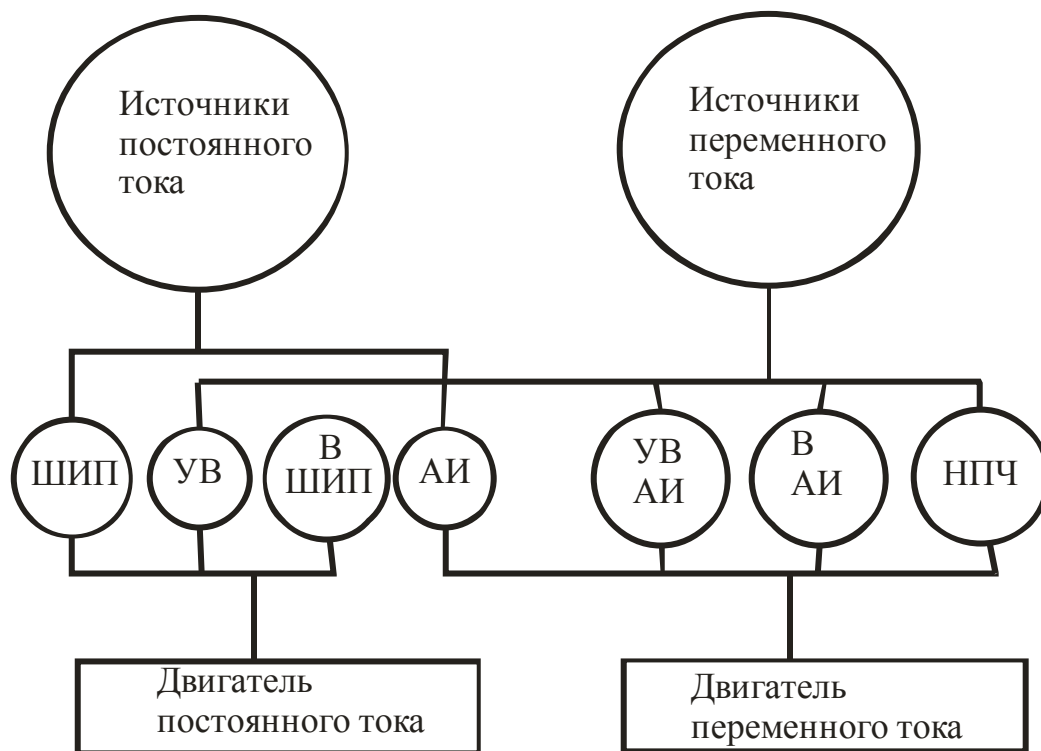


Рис.4.11. Силовые преобразователи и их соединения

Следует отметить, что стоимость двигателей переменного тока ниже стоимости двигателей постоянного тока из-за того, что первые технологичны для массового производства, а вторые - собираются вручную. Однако в электромеханических ММД переменного тока при питании от источника переменного тока регулированию подлежат как напряжение, так и частота. В таких ММД используется НПЧ или сочетание УВ+АИ или В+АИ, а при питании от источника постоянного тока применяется АИ. Указанные дополнительные устройства усложняют конструкцию и повышают стоимость ММД переменного тока. По этой причине в электромеханические ММД постоянного тока находят большее применение по сравнению с ММД переменного тока. Однако в ММД переменного тока перспективным является применение вентильных двигателей, которые по своим механическим характеристикам приближены к двигателям постоянного тока.

В ММД с двигателем постоянного тока больше применяются двигатели независимого возбуждения и магнитоэлектрические. В качестве преобразователя преимущественно используются широтно-импульсные преобразователи, которые обеспечивают линейные механические характеристики и широкий диапазон регулирования. Например, известны электродвигатели с диапазоном регулирования скорости до  $100\,000 : 1$ , полосой пропускания до 100 Гц и 10 кратной перегрузочной способностью.

Известно, что выходные порты устройства микропроцессорного управления имеют очень низкую мощность (порядка 100 мВт), поэтому они не могут управлять непосредственно исполнительными устройствами. Применение широтно – импульсных преобразователей позволяет не только подключать источник питания к двигателю, но и позволяет регулировать скорость вращения вала двигателя, изменяя при необходимости направление вращения. В свою очередь ШИП имеет свою систему управления (рис.4.12), на вход которого подаются сигналы от управляющего комплекса (УК).

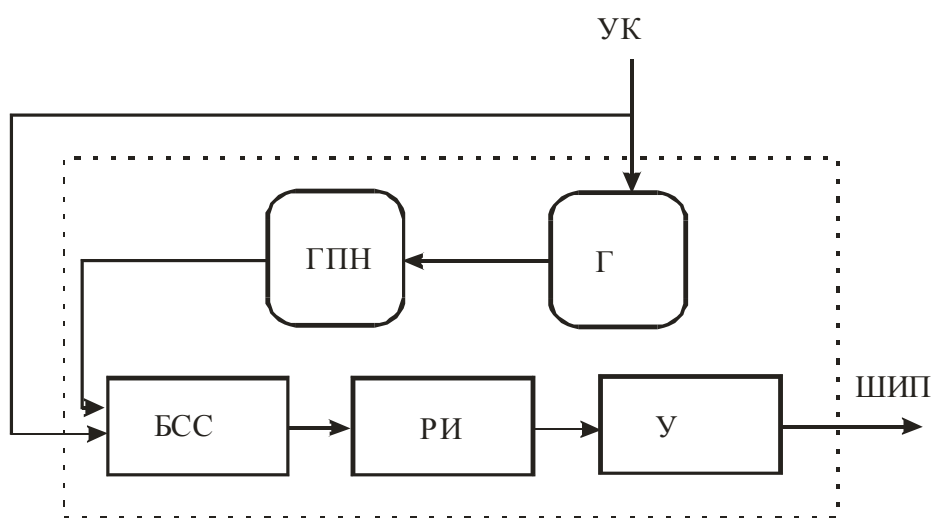


Рис.4.12. Система управления ШИП

Система управления ШИПа состоит из генератора (Г), генератора пилообразного напряжения (ГПН), схемы сравнения (СС), распределителя импульсов (РИ) и усилителя (У). При управлении большими мощностями (>100 Вт) не должно быть прямых электрических связей между УК и ШИПом. Это связано, во-первых, с тем, что ШИП как источник помех не влиял на УК, во-вторых, чтобы в случае пробоя высокое напряжение источника питания не повредило УК через электрическую связь. Чтобы избежать этих проблем обычно между РИ и У вводится гальваническая развязка, например сигналы управления передаются через оптотранзисторы. Кроме того при построении электронных схем ШИП предусматривается их защита от неоправданных потерь мощности и для обеспечения безопасности и надежности в работе. Упрощенная схема одной из простых схем ШИПа представлена на рис.4.13. Эта схема содержит транзисторные ключи ТК1-ТК4. Транзисторные ключи составлены из транзисторов VT1 – VT4, к которым параллельно соединены соответственно обратные диоды VD1-VD4, предназначенные для создания контура протекания тока при закрывании ключа и для защиты его от перегрузок.



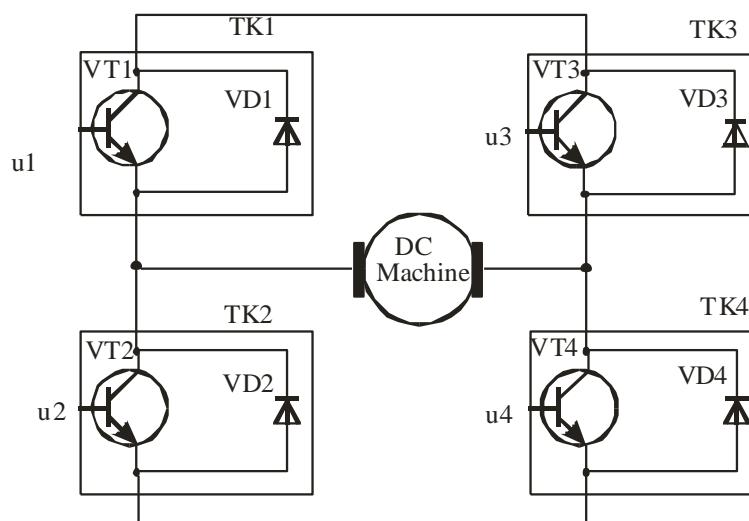


Рис.4.13. Упрощенная схема ШИП

Различают два способа управления ТК: симметричный и несимметричный. При симметричном способе ключи ТК1, ТК4 и ТК2, ТК3 коммутируются попарно и в противофазе. При несимметричном способе переключаются транзисторные ключи фазной группы ТК3 и ТК4 (ключи ТК1 и ТК2 при противоположной полярности входного сигнала). транзисторный ключ ТК1 постоянно открыт и насыщен, а ключ ТК2 постоянно закрыт. Транзисторные ключи ТК3 и ТК4 переключаются в противофазе. Симметричный способ обеспечивает двухполярное изменение на выходе. Несимметричное управление дает наоборот однополярное напряжение на нагрузке. При широтно-импульсном регулировании среднее значения напряжения якоря двигателя  $U_c$  регулируется за счет изменения длительности положительного ( $t_1$ ) и отрицательного ( $t_2$ ) импульсов при неизменном значении амплитуды  $U$ . При этом

$$U_c = \frac{Ut_1 - Ut_2}{T},$$

где  $T = t_1 + t_2$  – период изменения напряжения.

Если обозначить через  $\gamma = t_1/T$ , относительную продолжительность включения, то приведенную формулу можно представить в виде

$$U_c = U(2\gamma - 1).$$

Отсюда следует, что при  $\gamma = 0,5$  среднее напряжение якоря равно нулю.

При  $\gamma > 0,5$  напряжение  $U_c > 0$ , т.е. тем больше, чем больше  $t_1$  и вал якоря скажем вращается в положительном направлении.

При  $\gamma < 0,5$  напряжение  $U_c < 0$ , т.е. напряжение тем больше по абсолютному значению, чем больше  $t_2$  и вал якоря в этом случае вращается в противоположном направлении, происходит реверс.

В особую группу электромеханических ММД можно выделить шаговые двигатели. Наибольшее распространение получили два вида шаговых ММД. В одном из ММД двигатель имеет ротор с постоянным магнитом. В этом случае используется эффект от взаимодействия магнитного поля создаваемого обмотками статора с полем возбужденного ротора.

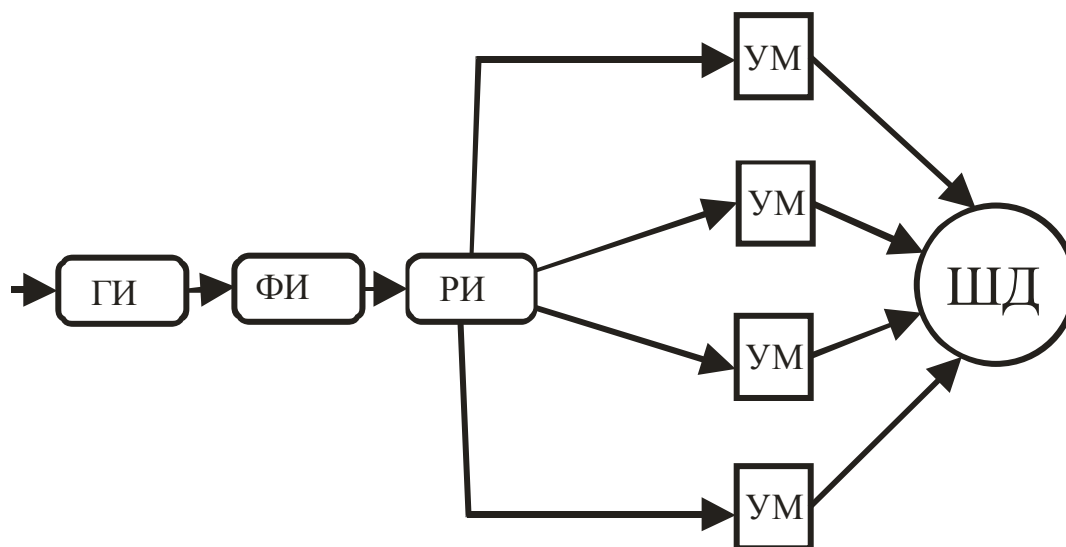


Рис.4.14. Схема управления шаговым двигателем

Во втором виде шагового ММД используется двигатель с переменным вдоль воздушного зазора магнитным сопротивлением и невозбужденным ротором. При этом используется соленоидный принцип взаимодействия между магнитным полем создаваемым обмотками статора и невозбужденным ротором из магнитомягкого железа. Основным преимуществом шаговых двигателей является то, что при его работе на частоте меньшей частоты приемистости, отсутствует накопление ошибок позиционирования. Ошибки, возникающие на одном шаге, не возрастают с увеличением числа шагов. Обычно к шаговым двигателям ММД предъявляются требования отработки малого шага и увеличения частоты импульсов. Шаговые ММД имеют разомкнутую систему управления. На рис. 4.14 показана схема управления шагового ММД [19]. Импульсы создаваемые генератором импульсов ГИ МПС приобретают требуемый вид в формирователе ФИ, затем поступают на распределитель импульсов РИ. Усилители мощности (УМ) питают обмотки шагового двигателя ШД.

При выборе шагового двигателя для ММД следует исходить из того, что двигатель активного типа (1 вид) обеспечивает точную фиксацию, но может использоваться когда частота импульсов не превышает 300 имп/с. Другой вид шагового двигателя с переменным магнитным сопротивлением используется в случае когда не требуется точная фиксация, а частота импульсов достигает до 1200 имп/с.

## 4.5. Миниатюрные приводы

Дальнейшее уменьшение размеров техники и повышение точности перемещений стали возможными с появлением миниатюрных приводов (миниприводов). Такие приводы имеют все более расширяющуюся область применения, начиная от минироботов, измерительных устройств, медицинских приборов и кончая приводами объективов сотовых аппаратов. Основу миниатюрных приводов составляют двигатели. В настоящее время в качестве микроактюаторов используются коллекторные и бесколлекторные электромагнитные микродвигатели, пьезомоторы, и интегральные приводы MEMS. Электромагнитные микродвигатели имеют конструкцию подобную традиционным двигателям. Практика показывает, что применение электромагнитных микродвигателей ограничивается размерами в 7 мм. Это объясняется тем, что при дальнейшем уменьшении размера увеличиваются потери на нагревание элементов и конструкции-тепловую энергию. Для размеров менее 7 мм. применяются пьезодвигатели и интегральные приводы, созданные по MEMS (микро-электро-механические системы) технологии.

В качестве примера рассмотрим конструкцию и принцип функционирования пьезодвигателя (Рис.4.15), в котором вал 1 совершает винтовое движение так как за счет обратного пьезоэффекта происходит изменение размеров четырех пьезокерамических элементов 2.

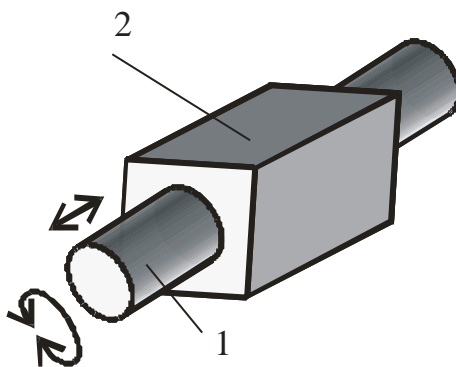


Рис.4.15. Схема пьезодвигателя

Уменьшение или увеличение пьезоэлементов зависит от полярности подведенного напряжения. Для получения большего эффекта перемещения используется резонансный режим частоты возбуждения. В зависимости от размеров частота возбуждения напряжения изменяется в пределах 40-200 кГц. При этом за счет трения между винтом и муфтой, связанной с пьезокерамическими элементами происходит движение винта относительно муфты. При этом в качестве материалов винта и муфты используются неметаллические материалы (бронза, титан и т.д.).

### *Вопросы для самоконтроля*

- 1. Что понимается под человеко-машинным интерфейсом,*
- 2. Три основных принципа соблюдаемые при проектировании интерфейса.*
- 3. Что Вы понимаете под микропроцессором.*
- 4. Приведите структуру микропроцессорного комплекса.*
- 5. Как устроено простейшее запоминающее устройство.*
- 6. Как считываются данные из запоминающего устройства.*
- 7. Какие функции выполняет микропроцессор.*
- 8. Как классифицируются датчики.*
- 9. Назначение коммуникационных систем.*
- 10. Как увеличить скорость передачи информации.*
- 11. Приведите структуру мехатронного модуля движения.*
- 12. Покажите как устроен пневматический мехатронный модуль движения.*
- 13. В чем преимущества электрогидравлического мехатронного модуля движения.*
- 14. Покажите функциональную схему электрогидравлического мехатронного модуля движения.*
- 15. Как классифицируются электрические машины по электрическим параметрам.*
- 16. Как соединятся различные источники тока с двигателями постоянного и переменного тока.*
- 17. Какие существуют силовые преобразователи.*
- 18. Покажите систему управления двигателем постоянного тока с применением широтно-импульсного преобразователя.*
- 19. Покажите схему управления шаговым двигателем.*
- 20. Покажите схему пьезодвигателя и объясните принцип его работы.*

## ГЛАВА 5 МЕХАТРОННАЯ ТЕХНИКА

В настоящее время трудно указать сферы деятельности человека, в которых не применялись бы технические результаты мехатроники. Ниже приведены лишь некоторые из сфер деятельности, в которых продукты мехатроники - мехатронные технические системы (МТС) и устройства занимают важное место. К мехатронным техническим системам, применяемым на производстве, относятся промышленные роботы, станки с программным управлением (ЧПУ), автоматические линии и т.д.

В дальнейшем роботы, как наиболее типичные мехатронные устройства и как продукт робототехники, будут рассматриваться достаточно подробно. По этой причине здесь в качестве примера МУ остановимся на описании некоторых примеров мехатронной техники.

### 5.1. Станки с ЧПУ

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) нашли широкое применение в производстве. В зависимости от вида операций, производимых на станках, станки с ЧПУ подразделяются на следующие технологические группы: токарные, фрезерные, сверлильные, координатно-расточные, фрезерно-расточные, шлифовальные, многоцелевые и др. Внедрение станков с ЧПУ является одним из главных направлений автоматизации средне- и мелкосерийного производства. Современные станки с ЧПУ представляют технологическую мехатронную систему. В состав станков с ЧПУ как и всякой мехатронной системы входят: управляющий комплекс (устройство ЧПУ), который представляет совокупность технических средств микроэлектроники и программно-аппаратных средств; исполнительные устройства в виде различных приводов (главный привод, привод подач и др.); исполнительный механизм в виде конструкции станка; информационно-измерительная система и система коммуникаций.

По международной классификации устройства ЧПУ (УЧПУ) подразделяются на следующие классы: NC (Numerical Control); SNC (Stored Numerical Control); CNC (Computer Numerical Control); DNC (Direct Numerical Control); НМС (Handled Numerical Control); VNC (Voice Numerical Control). Реальные УЧПУ представляют часто синтез признаков различных классов. В связи с внедрением микропроцессорных компьютерных комплектов и компьютеров для управления техническими системами наибольшее распространение в настоящее время находят УЧПУ класса CNC и в сочетании этого класса с другими. Эти УЧПУ позволяют в период эксплуатации изменять и корректировать управляющие программы обработки детали, а также программы функционирования самой системы. Система управления класса CNC позволяет в режиме диалога или обучения производить доработку и отладку программы управления, просматривать результаты в виртуальном

режиме. УЧПУ этого класса имеет программы адаптации на возмущающие факторы, а также дает возможность производить контроль и диагностику оборудования, в частности, дистанционно. Упрощенная схема структуры УЧПУ класса CNC представлена на рис. 5.1.

Здесь компьютер верхнего уровня выдает управляющую программу, которая содержит укрупненное кодированное описание всех стадий геометрического и технологического образования детали.

В человеко-машинный интерфейс входят дисплей, клавиатура, пульта обучения и ручного управления и т.д. Графический дисплей позволяет корректировать размеры детали, изменяя данные управляющей программы. В качестве устройства хранения информации используются дискеты, винчестеры, компакт-диски, флэш-карты. К устройствам ввода и вывода информации относятся клавиатура, CD - ROM и др.

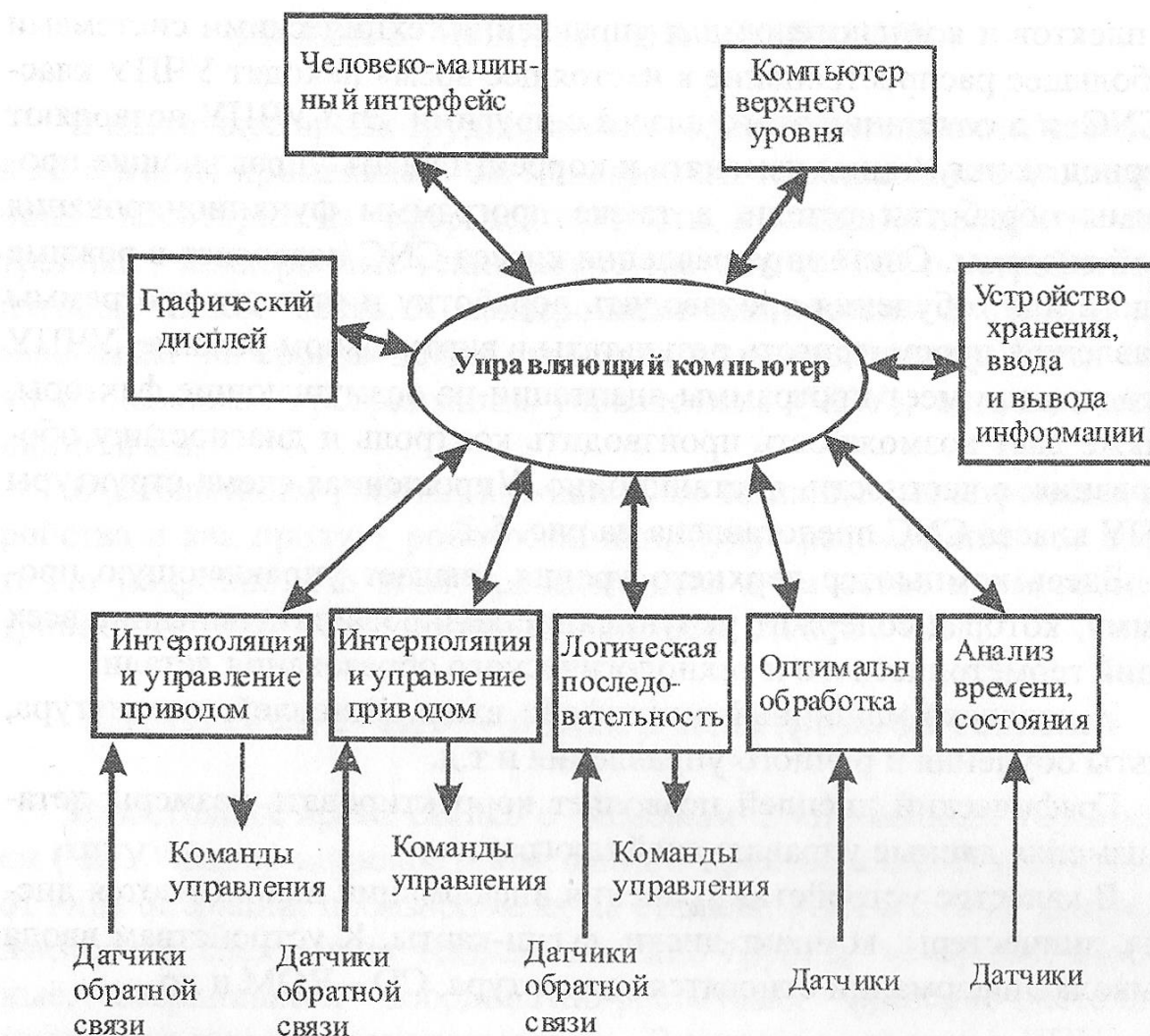


Рис.5.1. Упрощенная схема УЧПУ

Интерполяция выполняется с тем, чтобы с достаточной точностью получить координаты промежуточных точек траектории движения

управляемого объекта по координатам крайних точек и заданной функции интерполяции. Если компьютерное управление представляет управление на тактическом уровне, то интерполяция и управление представляет управление на исполнительном уровне конкретным мехатронным модулем движения - приводом. Управление главным приводом заключается во включении и отключении привода и только

иногда управление углом поворота. Более сложным является управление подачей, которое зависит от количества управляемых движений (координат станка). На Рис.5.2 показана схема обработки детали [20], при котором приводы подачи осуществляют управление по 5 координатам, показанным на схеме стрелками.

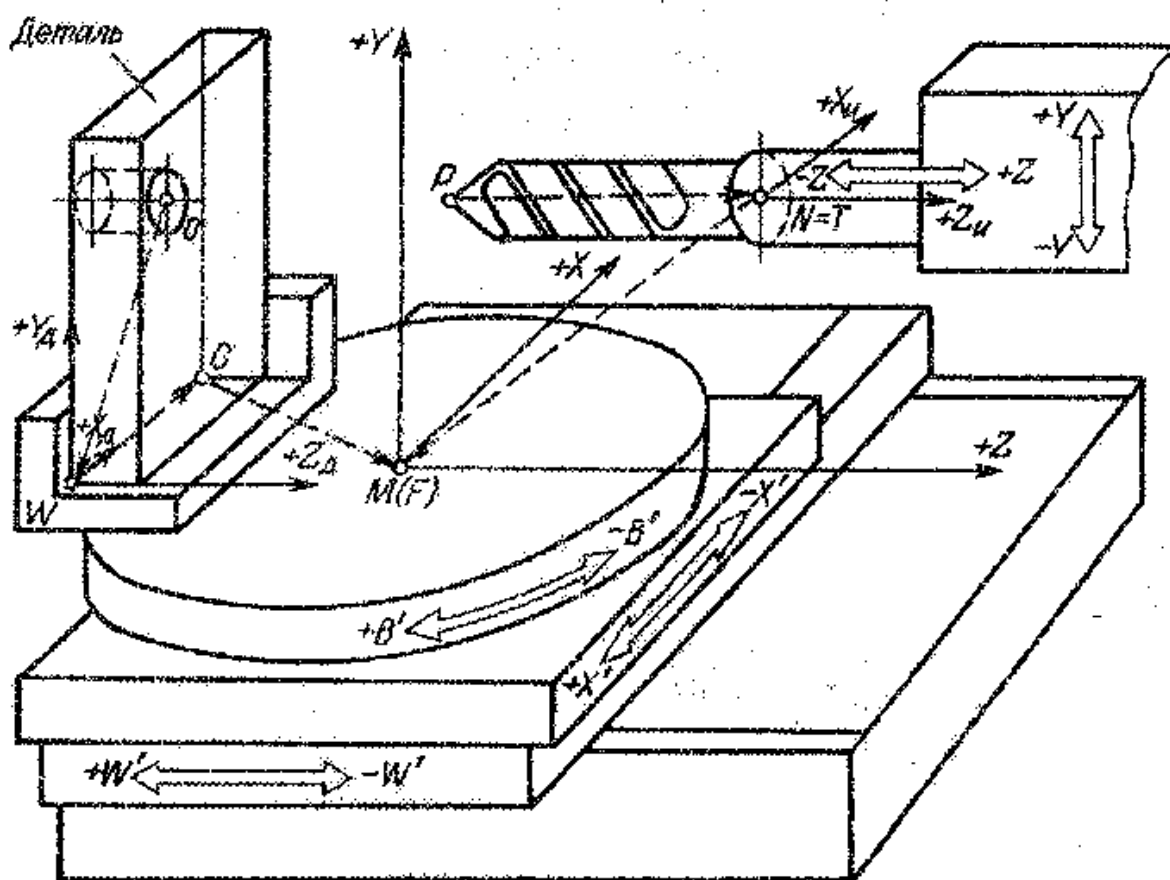


Рис.5.2. Схема обработки детали на 5-координатном станке

Управление следящими приводами иногда предусматривает адаптацию по возмущению. Кроме того, программа управления на исполнительном уровне организует вспомогательный режим, а именно: согласование по сигналам с датчиками обратной связи, установка системы приводов в фиксированный нуль, контроль за координатами, автоматический выход приводов в режим торможения и т.д. Логическая последовательность представляет управление, которое включает и выключает технологические узлы.

Задача обработки детали на станках с ЧПУ решается обычно в следующей последовательности: разрабатывается компьютерная модель детали, например, в „среде AutoCad; разрабатывается технологическая карта обработки изделия; составляется управляющая программа применительно к конкретному станку; осуществляется автоматическая загрузка программы; дальнейшее управление осуществляет УЧПУ вплоть до окончания технологической операции с контролем соответствия заданным требованиям. Исполнительными устройствами станков с ЧПУ являются: главный привод, привод подач, приводы вспомогательных устройств (устройств автоматической смены инструментов и т.д.). К главному приводу и приводу подачи предъявляются требования повышенной мощности и жесткости, возможность управления и регулирования скоростью. В качестве приводов обычно используются асинхронные электродвигатели, мотор-шпиндели (главный привод), электродвигатели постоянного тока, совместно с гидроусилителями. В приводах подачи могут использоваться также шаговые электродвигатели с гидроусилителем, электрические приводы с низкооборотным электродвигателем, гидроприводы. В качестве передаточных механизмов в приводах подач часто используются передачи винт - гайка, зубчатые и ременные передачи с автоматической выборкой зазоров и регулированием натягов. Станок является основным объектом управления, исполнительным механизмом, управляемым по нескольким координатам. На рис.5.2. представлены системы координат сверлильно-расточного станка. Металлорежущие станки с ЧПУ можно разделить условно на две группы: станки для обработки тел вращения и для обработки корпусных деталей. Наиболее универсальными являются многоцелевые станки. В современных станках в целях повышения производительности увеличивают скорость вращения шпинделя (более 4000 об/мин) и скорости рабочих подач (3 м/мин), скорости быстрых ходов (10 м/мин). При этом выполняются жесткие требования по точности.

Основные тенденции развития станков с ЧПУ следующие:

- создание УЧПУ с применением ЭВМ, контроллеров, микропроцессорных комплектов, применение в электроавтоматике станка с ЧПУ микроэлектроники, введение в систему станка диагностических устройств;
- широкое внедрение автоматизированных самоприспосабливающихся (адаптивных) устройств, обеспечивающих оптимизацию управления и обработки деталей;
- создание УЧПУ, управляющих как отдельными станками, так и группой станков. Управление от ЭВМ комплекта станков и роботов, складов, транспортных линий и контрольных устройств, обеспечивающих коррекцию погрешностей станков, планирование и контроль за работой производственного участка;
- внедрение автоматизированных приводов с большим диапазоном бесступенчатого регулирования частоты вращения шпинделя и применение более совершенных преобразователей и двигателей.



## 5.2. Накопитель на жестких дисках - винчестер

Различные мехатронные изделия отличаются отношением в этих электронно-технических системах роли и содержания механической части к электронной. Например, в некоторых системах управляющая функция является главенствующей, а механическая часть обеспечивает вспомогательную функцию. К такому МУ можно отнести применяемый в компьютерах в качестве носителей информации: винчестер, дисковод гибких дисков и дисковод компакт-дисков CD-ROM, имеющие подобные конструкции.

Первый винчестер, также называемый накопитель на жестких дисках (Hard Disc Drive, HDD) был разработан фирмой IBM в самом начале 70-х годов. Этот громоздкий 14-дюймовый диск позволял записать 30 дорожек по 30 секторов в каждой из них; обозначение диска "30/30" напоминало название широко распространенной модели ружья фирмы "Winchester", в результате чего в английском языке для обозначения дисковых устройств с несъемными дисками стали широко применять слово "winchester" (винчестер). В 1973 году фирма IBM создала первый накопитель с несколькими дисками емкостью 140 Мб, который продавался по цене \$8600.

При разработке первой модели компьютера IBM PC в нем не был предусмотрен встроенный винчестер, однако уже в следующей модели он был установлен (20 Мб). В компьютере PC AT винчестер уже являлся основным средством повышения эффективности компьютера - пользователям не требовалось больше загружать операционную систему с дискет и искать каждый раз новую дискету при начале работы с какой-либо программой. Возможность хранения на встроенном диске больших объемов данных и программ значительно расширила диапазон использования персональных компьютеров. Сегодня HDD стал неотъемлемой частью любого компьютера. Современный винчестер представляет собой сложную мехатронную систему. На виде винчестера со снятой головкой (рис.5.3.) показаны основные узлы винчестера:

- 1 - блок дисков;
- 2-головки чтения/записи;
- 3-управляющая электроника;
- 4-привод головок.

Рассмотрим ряд узлов более подробно. Основными исполнительными устройствами являются привод шпинделя и привод поворотного рычага головок.

Привод шпинделя включает двигатель, находящийся под блоком дисков и создающий магнитное поле. Это достигается размещением по окружности двигателя нескольких обмоток, через которые при помощи специальной схемы

по очереди пропускается ток. На самом шпинделе закреплен постоянный магнит, который под действием этого поля тоже начинает вращаться, раскручивая дисковый блок. Для перемещения поворотных рычагов головок используется так называемый линейный двигатель, подобный звуковой катушке, который не имеет какой-либо дискретности, а установка на дорожку производится по сигналам, записанным на дисках, что дает значительное увеличение точности привода и плотности записи на дисках. Линейный двигатель представляет собой две обмотки, закрепленные на противоположном головкам конце рычага, которые находятся в поле постоянного магнита. При прохождении тока через обмотки создается второе магнитное поле, взаимодействующее с первым и стремящееся установить поворотную систему в строго определенное положение, зависящее от силы и полярности тока в обмотках. При плавном изменении тока система рычагов будет плавно поворачиваться вокруг своей оси, перемещая головки по дуге близкой к радиусу дисков. Фиксация системы рычагов в исходном положении (посадочной зоне) производится с помощью магнитной защелки, которая при крайнем внутреннем положении головок притягивается к поверхности статора и фиксирует рычаг в этом положении. Это так называемое парковочное положение головок, которые при этом лежат на поверхности диска, соприкасаясь с ней. При запуске винчестера схема управления линейным двигателем "отрывает" фиксатор, подавая на двигатель усиленный импульс тока. В посадочной зоне дисков информация не записывается.

Управляющий комплекс винчестера представляет собой самостоятельный микрокомпьютер - с собственным процессором, памятью, устройствами ввода/вывода и т.п. Его основные функции:

- диагностика всех систем при подаче питания;
- слежение за работой исполнительных устройств;
- нахождение необходимых данных на поверхности диска, позиционирование головок;
- исправление ошибок чтения с поверхности диска;
- обмен данными с контроллером жестких дисков;
- перекалибровка следящих систем, необходимая при изменении температурного режима;
- парковка головок, т.е. перемещение их в посадочную зону, при неожиданном выключении питания;
- ведение учета рабочих параметров (S.M.A.R.T. (Self Monitoring Analysis and Report Technology) - технология самостоятельного следящего анализа и отчетности);
- усиление и распознавание сигналов.

Для распознавания сигналов используется технология, называемая PRML (Partial Response, Maximum Likelihood) - максимальное правдоподобие при неполном отклике, основанное на сравнении полученных сигналов с набором образцов. При этом на основании максимальной похожести делается

заключение о приеме того или иного кодового слова, эти работы и выполняют данные схемы.

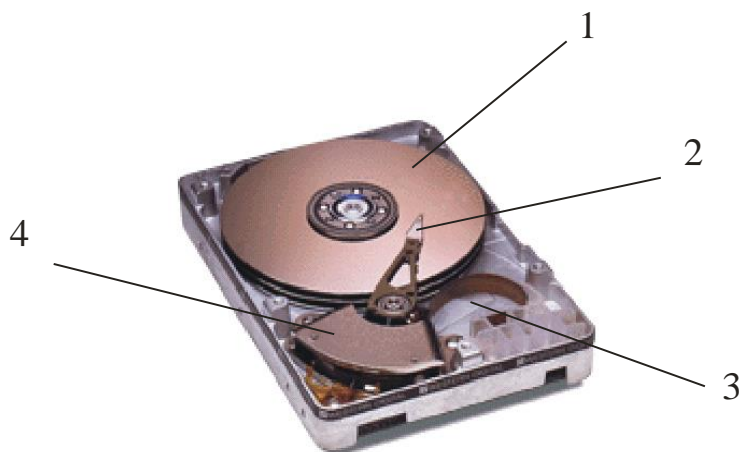


Рис.5.3. Винчестер со снятой крышкой

Винчестер работает следующим образом. При включении питания микропроцессор винчестера выполняет тестирование электроники, после чего выдает команду включения двигателя привода блока дисков. При достижении некоторой критической скорости вращения плотность увлекаемого поверхностями дисков воздуха становится достаточной для преодоления силы прижима головок к поверхности и поднятия их на высоту сотых долей микрона над поверхностями дисков. С этого момента и до снижения скорости ниже критической головки "парят" на воздушной подушке (зазор в 5-10 раз меньше толщины волоса) и совершенно не касаются поверхностей дисков, поэтому ни диски, ни сами головки практически не изнашиваются. Хотя малейшая частица представляет потенциальную угрозу для разрушения дисков. После достижения дисками скорости вращения, близкой к номинальной, головки выводятся из посадочной зоны, и начинается поиск сервометок для точной стабилизации скорости вращения. Поскольку в любой зоне дисков присутствует серво разметка, то сервоимпульсы начинают поступать с головок сразу же после начала вращения, и по их частоте можно судить о скорости вращения дисков. Система стабилизации вращения УК постоянно следит за потоком сервоимпульсов, и при достижении номинальной скорости происходит так называемый "захват", при котором любое отклонение скорости вращения сразу же корректируется изменением тока в обмотках двигателя. При достижении номинальной скорости вращения освобождается фиксатор привода головок, и система управления проверяет его способность поворачиваться и удерживаться на выбранном месте. Для этого делается серия быстрых поворотов в разные стороны, что на слух воспринимается, как характерное "тарактение" винчестера через несколько секунд после старта. Во время перемещения головок постоянно идет слежение за поступающими с головок сервоимпульсами, и система управления всегда знает, над сколькими дорожками прошла головка. Аналогично происходит и удержание головки над выбранной дорожкой - при

отклонении от центра дорожки изменяется величина и форма сервоимпульсов, и система управления ликвидирует отклонение, изменяя ток в обмотках привода. Во время тестирования привода головок заодно делается и его калибровка - подбор параметров управляющих сигналов для наиболее быстрого и точного перемещения головок при минимальном количестве "промахов". Затем выполняется считывание информации из служебной зоны. В ПЗУ винчестера хранится только программа начального запуска. В ОЗУ же загружаются остальные части управляющей программы. Кроме всего прочего, в ОЗУ загружается так называемая карта переназначения дефектов, в которой отмечены дефектные секторы, выявленные при заводской разметке дисков; эти секторы исключаются из работы и подменяются резервными, которые имеются



Рис.5..4. Ризографический комплекс

на каждой дорожке и еще в отдельных зонах каждого диска. Таким образом, даже если диски и имеют дефекты (а при современной плотности записи они имеют их всегда), для пользователя создается впечатление "чистого" винчестера, свободного от сбойных секторов. После начальной настройки электроники и механики микрокомпьютер УК винчестера переходит в режим ожидания команд от контроллера, расположенного на системной плате. Получив команду, он включает нужную головку, по сервоимпульсам отыскивает нужную дорожку, дожидается, пока до головки "доедет" нужный сектор, и выполняет считывание или запись информации. Если контроллер запросил чтение/запись не одного сектора, а нескольких - винчестер может

работать в так называемом блочном режиме, используя ОЗУ в качестве буфера и совмещая чтение/запись с передачей информации к контроллеру или от него. Во время работы постоянно работает система слежения за положением головки на диске: из непрерывно считываемого сигнала выделяется сигнал рассогласования, который подается в схему обратной связи, управляющую током обмоток привода головок. При отклонении головки от центра дорожки в обмотках возникает сигнал, стремящийся вернуть ее на место. При отключении питания УК выдает команду на установку головок в парковочное положение, которая успевает выполняться до снижения скорости вращения ниже критической.

### 5.3. Офисная мехатронная техника

В офисах и в быту находят широкое применение МУ. Так, например, из используемой офисной оргтехники в качестве примера МУ можно указать на пишущие автоматы (Оргтекст Д, Роботрон 6908, Флексорайтер 2201), копировально-множительная техника (Херох, Canon, Ricon), средства оперативной полиграфии (гектографы, ротаторы, ризографы). Например, ризограф используется для оперативного создания, редактирования и размножения любых полиграфических изданий. С помощью интерфейса RIP300 ризограф можно подключить к компьютеру.

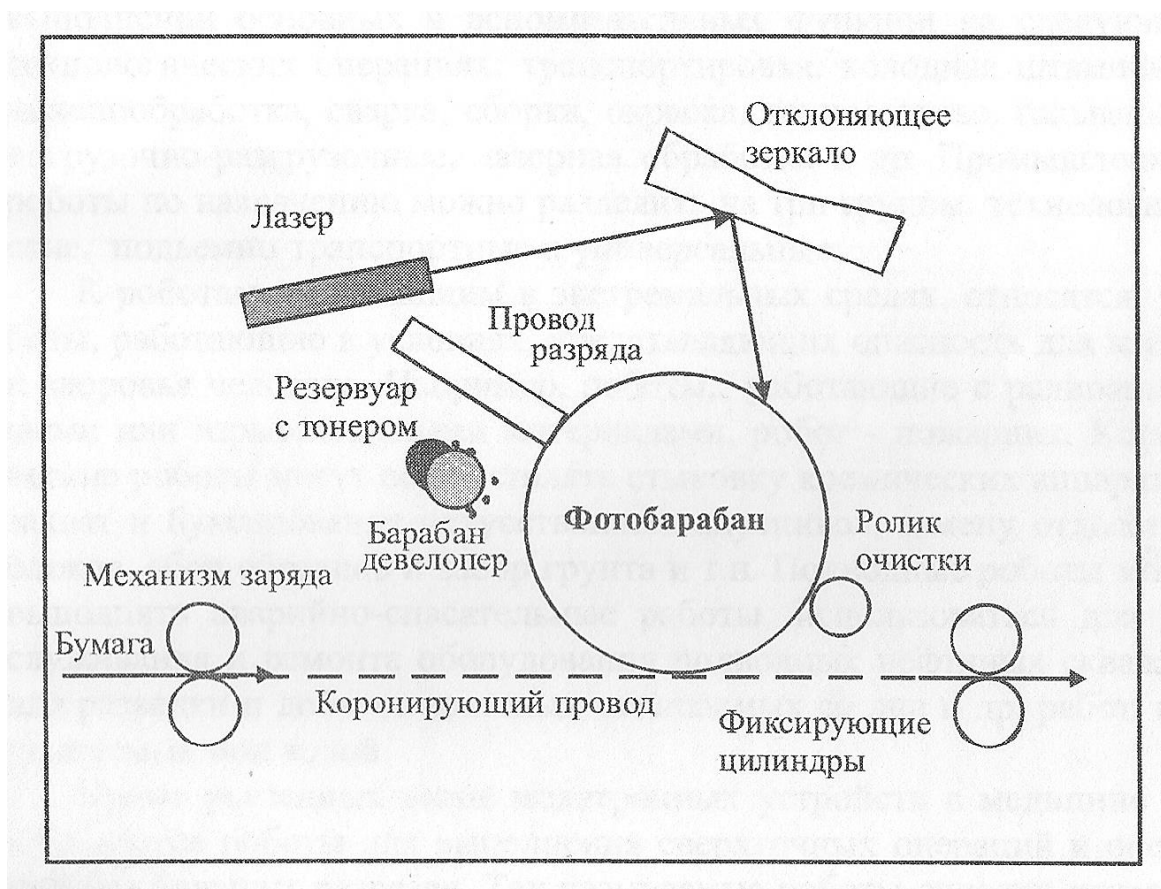


Рис.5.5. Схема функционирования лазерного принтера

На рис.5.4. показана структура ризографического комплекса, составленного из различных МУ: 1-сканер, 2- принтер, 3 - ризограф, 4- фальцовщик, 5- переплетчик, 6- коллатор, 7- брошюровщик. Все движения в данных устройствах осуществляются с помощью электродвигателей постоянного тока через их контроллеры, совместимость с компьютером осуществляется с помощью специальных программ – драйверов.

В качестве примера более подробно остановимся на принципе функционирования лазерного принтера. Основным конструктивным элементом лазерного принтера является фотобарабан с приводом от шагового двигателя (рис.5.5.). Фотобарабан переносит изображение со своей поверхности, представляющей металлический цилиндр, покрытый тонкой пленкой светопроводящего полупроводника (обычно из оксида цинка), на бумагу при печатании. Для того, чтобы сформировать изображение, на барабане используется коронирующий провод. На этот провод подается высокое напряжение, в результате во-круг него возникает ионизирующая область, называемая «короной». Эта область создает поверхностный заряд на барабане. Лазер, управляемый от контроллера, генерирует тонкий световой луч, отражающийся от вращающегося зеркала. Этот луч, попадая на поверхность барабана, в точках соприкосновения изменяет поверхностный заряд барабана. Таким образом на барабане возникают точки, к которым притягивается красящая пыль и формирует изображение. Бумага через механизм подачи втягивается в принтер. Перед барабаном бумаге сообщается статический заряд. Затем бумага соприкасается с поверхностью барабана и благодаря своему статическому заряду притягивает частицы тонера на свою поверхность. Для фиксации тонера бумага вновь заряжается и пропускается между двумя роликами с температурой около 180°C. Таким образом, в принтере с помощью управляемых электродвигателей осуществляется движение барабана, поворотного зеркала, механизма подачи бумаги и приводы фиксирующих цилиндров. Можно привести множество примеров офисной техники, в которых основные и вспомогательные операции, необходимые для выполнения функционального назначения, осуществляются посредством мехатронных модулей и устройств.

### **Вопросы для самопроверки**

- 1. Приведите примеры мехатронной техники.*
- 2. Из каких элементов состоит, система управления устройства с числовым программным управлением.*
- 3. В какой последовательности решается задача обработки изделия на станке с числовым программным управлением.*
- 4. Как устроен накопитель на жестких дисках- винчестер.*
- 5. Как работает винчестер.*
- 6. Приведите примеры офисной мехатронной техники.*
- 7. Покажите, как функционирует лазерный принтер.*

## ГЛАВА 6. РОБОТЫ

### 6.1. Назначение и области применения роботов

По назначению и области применения роботы можно разделить на следующие классы: манипуляционные, информационные, мобильные, роботы-экзоскелеты [21], приведенные на рис. 6.1. Наиболее распространенным является класс манипуляционных роботов, к которым относятся промышленные роботы, роботы для экстремальных сред, медицинские и бытовые роботы. Промышленные роботы, используемые непосредственно в сфере производства, применяются при выполнении основных и вспомогательных функций на следующих технологических операциях: транспортировка, холодная штамповка, механообработка, сварка, сборка, окраска, точное литье, гальваника погрузочно-разгрузочные, лазерная обработка и др. Промышленные роботы по назначению можно разделить на три группы: технологические, подъемно-транспортные и универсальные. К роботам, работающим в экстремальных средах, относятся роботы, работающие в условиях, представляющих опасность для жизни и здоровья человека. Например, роботы, работающие с радиоактивными или взрывоопасными материалами, робот - пожарник. Космические роботы могут осуществлять

стыковку космических аппаратов, захват и буксирование искусственных спутников, замену отдельных блоков, сбор образцов и забор грунта и т.п. Подводные роботы могут выполнять аварийно-спасательные работы, использоваться для обслуживания и ремонта оборудования подводных нефтяных скважин, для разведки и добычи полезных ископаемых со дна и др. работ, выполняемых под водой. Кроме указанных ранее мехатронных устройств в медицине используются роботы для выполнения сверхточных операций и операций без больших разрезов. Так называемые роботы-сиделки позволяют парализованному больному выполнять различные несложные функции: поворот тела, включение радио и др. К бытовым роботам можно отнести роботы-домохозяйки, различные антропоморфные игрушки, а также роботы, используемые в рекламных целях и др. Другой класс роботов - информационные роботы, включает в себя аппараты, используемые в космосе, под водой, под землей. Основное назначение этих роботов заключается в получении и передаче информации об окружающей среде. Главная особенность информационных роботов в том, что они имеют супервизорное управление. При этом операции выполняются в автоматическом режиме и только переход от одной операции к другой производит оператор, выполняющий роль супервизора, осуществляющего контроль за действием робота и разрабатывающего стратегию действия.



Перспективными являются роботы, относящиеся к классу мобильных роботов. Это роботы, передвигающиеся с помощью различных движителей и в зависимости от вида движителя они подразделяются на гусеничные, колесные, шагающие.

В отдельный класс здесь выделены роботы - экзоскелетоны, используемые для замены и усиления функции верхней и нижней конечности человека. К ним относятся различные ортопедические устройства, искусственные конечности, протезы.

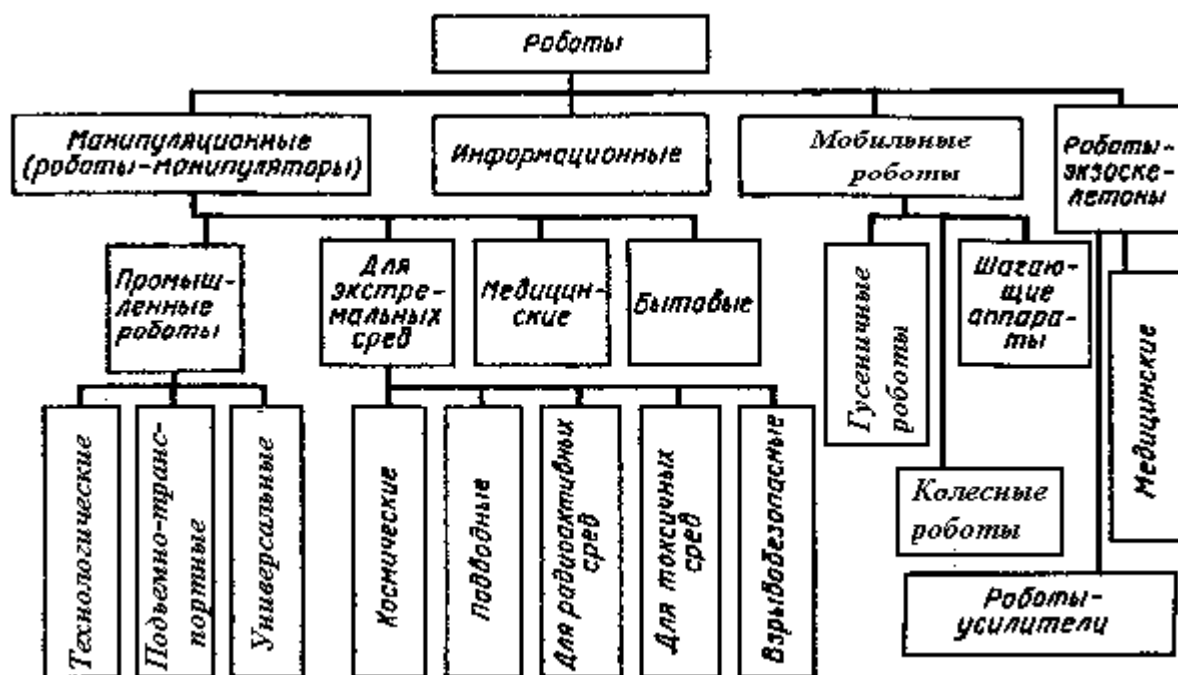


Рис.6.1. Классификация роботов

Роботы-усилители - это так называемые киборги позволяет значительно усилить физические возможности человека. В некоторых случаях киборги снабжаются устройствами позволяющими слышать и видеть лучше человека.

И, наконец, следует отметить, что некоторые роботы, можно отнести одновременно к нескольким классам. Например, для выполнения работ по ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС использовался робот "Мобот-Ч", разработанный в МГТУ им. Н.Э. Баумана [21]. МОБОТ-Ч (Рис.6.2) представляет одновременно манипуляционный и мобильный робот, он состоит из шасси 3 на гусеничном ходу, навесного оборудования, состоящее из манипулятора 4 с ковшем 2 и отбойным молотком 1, фронтального погрузчика 7, барабана 5 с кабелеукладчиком 6 информационной системы и системы управления. Робот оснащен системой технического зрения, позволяющей оператору осуществлять дистанционное управление. Мобот -Ч показал высокую работоспособность в условиях повышенной радиации.

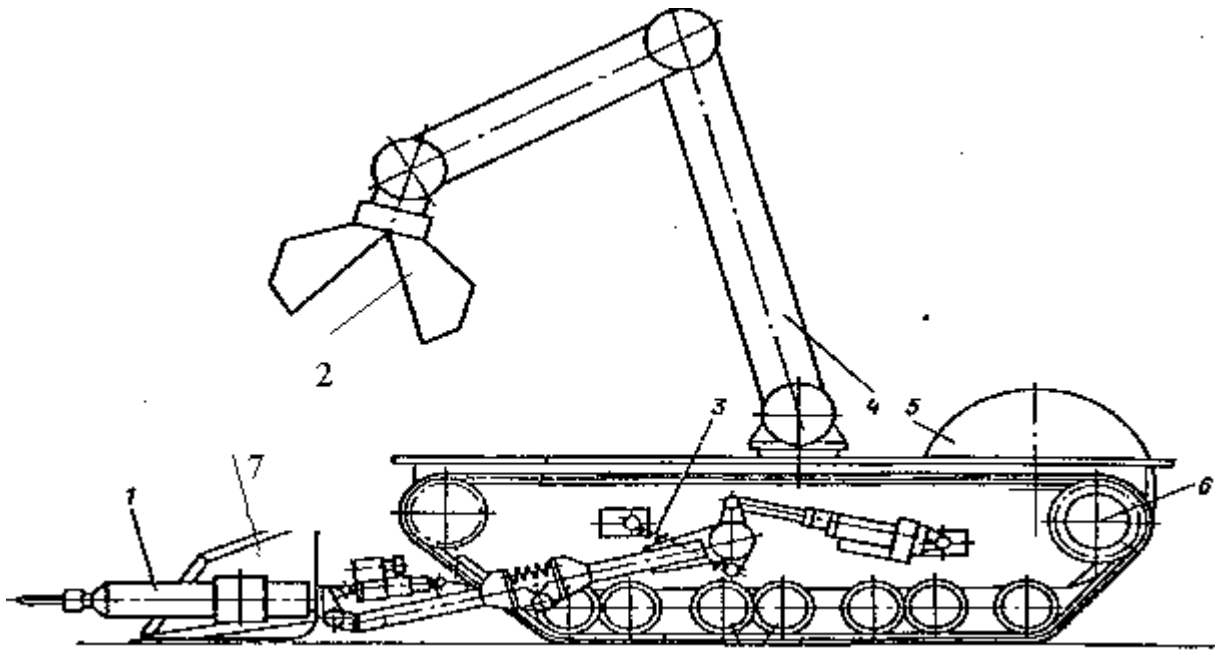


Рис.6.2. Робот МОБОТ-Ч

## 6.2. Роботы для экстремальных сред

### 6.2.1. Роботы, применяемые в космосе

Для исследования и работы в космическом пространстве в настоящее время находят применение космические роботы. К космическим роботам можно отнести управляемые космические аппараты, выведенные на орбиту, а также аппараты, которые исследуют поверхность спутников планет и другие планеты. Сейчас очевидно, что космические роботы, наряду с пилотируемыми средствами являются важными средствами познания Вселенной. Одной из ярких страниц освоения космоса явился первые автоматические самоходные лаборатории "Луноход-1" и "Луноход-2". На рис.6.3 изображен «Луноход-1», который в 1970 г. провел исследование поверхности грунта Луны. Этот аппарат перемещался в Море изобилия в течении 300 суток, сделав при этом 2000 снимков поверхности площадью около 500000 кв.м. На рис.6.3 отмечены основные узлы «Лунхода-1». Здесь: 1,2-антенны; 3- радиатор-охладитель; 4-солнечная батарея; 5- изотопный источник энергии; 6- девятое колесо; 7-штыревая антенна; 8- телефотокамера; 10 приборный отсек; 11-телевизионная камера; 12-лазерный отражатель. Этот самоходный аппарат представлял пример мобильного робота и имел 8 автономно управляемых приводных колес, манипулятор для бурения и взятия проб грунта.

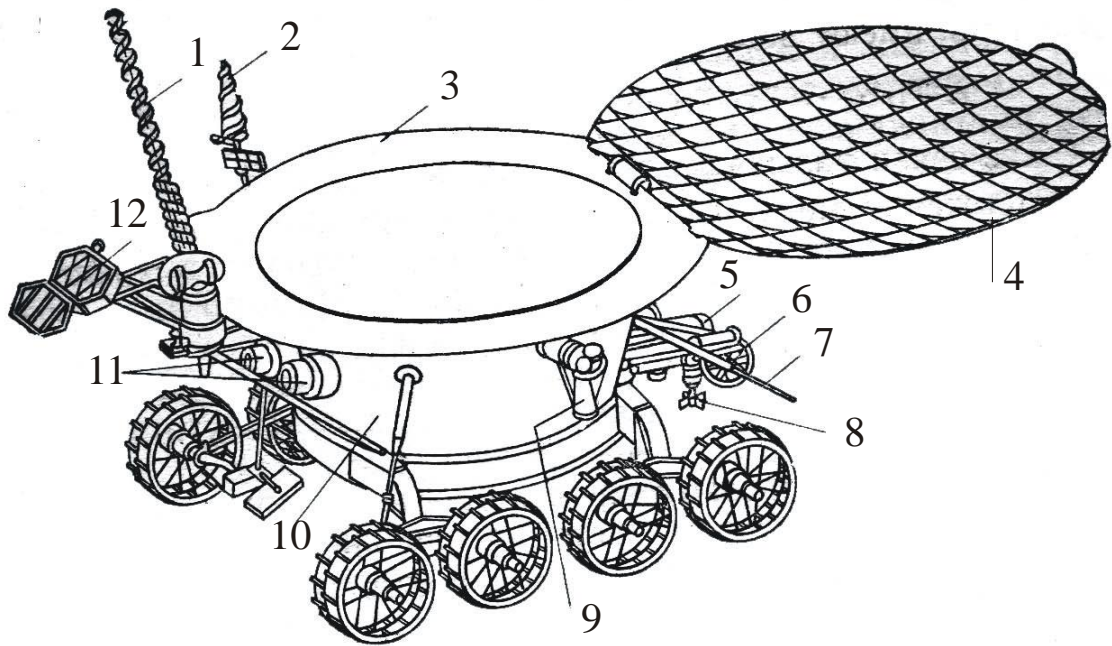


Рис.6.3. Космический робот «Луноход-1»

Другим примером автоматически управляемого космического робота является американский аппарат «Викинг» (рис.6.4). Этот аппарат был доставлен на поверхность Марса в 1976 г. На рис. показаны некоторые узлы и детали этого робота. Здесь 1- передающая антенна; 2- анализатор грунта; 3- телекамера; 4- метеорологические приборы; 5- устройство для биологических исследований; 6- грузозаборное устройство; 7-двигатель посадки; 8- спектрометр; 9- топливный бак; 10-антенна для приема команд; 11 – источник энергии; 12- антенна для передачи на орбитальный отсек; 13-сейсмометр. Этот робот имеет автоматически управляемые механизмы опор, манипулятор, управляемые механизмы приводов антенн. Примером космического робота является манипулятор космического комплекса многоразового пользования «Шаттл». Эксплуатация «Шаттла» началась в 1980 г. На рис. 6.5 показана конструкция пилотируемого орбитального летательного аппарата космического комплекса «Шаттл» (Макаров). Расположенный в грузовом отсеке 1 робот 2 имеет манипулятор 5. На схвате 7 манипулятора установлен датчик 8, две телевизионные камеры 6 и осветитель 9. В шарнирные соединения 4 манипулятора встроены двигатели постоянного тока с тахогенераторами для измерения угловой скорости и датчиками угловых положений (потенциометрами). Дистанционное управление роботом производит оператор из передней камеры 12. Манипулятор робота способен обслуживать верхнюю полусферу радиусом 9 м. и охватывает частично даже нижнюю часть аппарата.

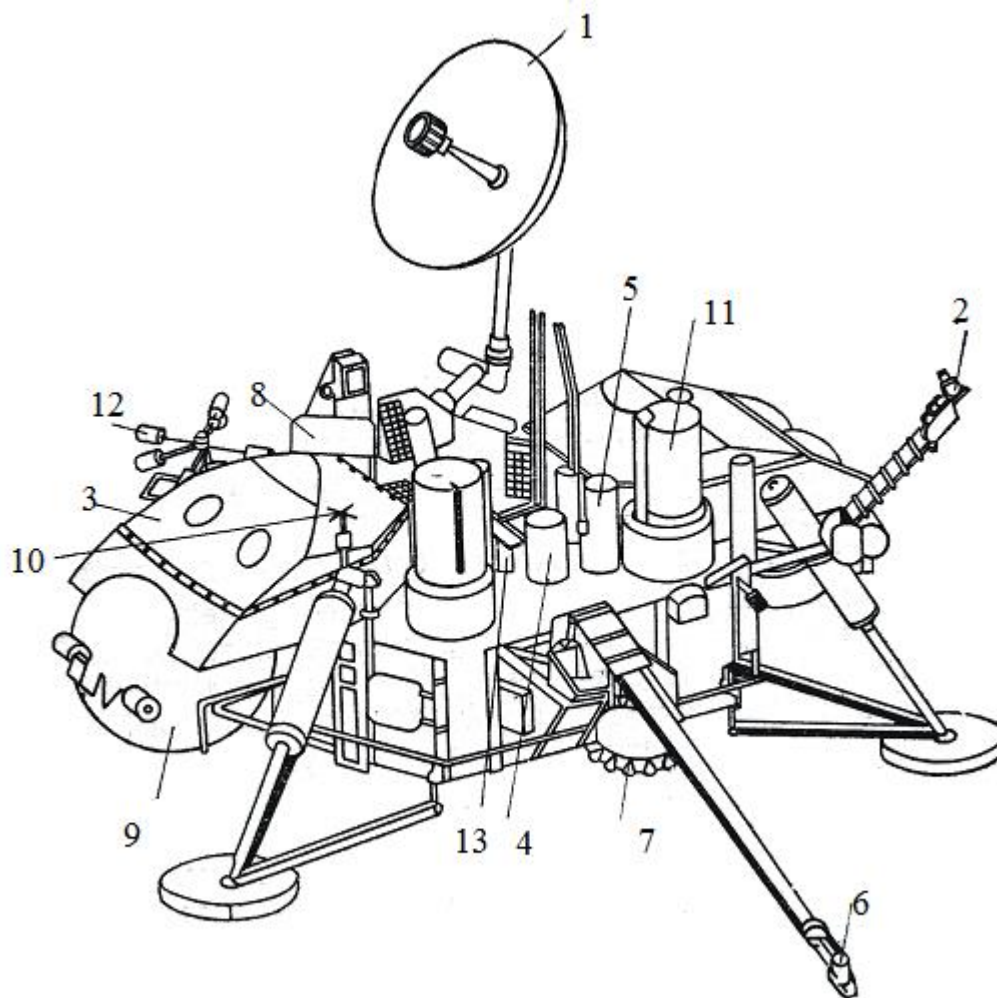


Рис. 6.4 Космический робот «Викинг»

Робот «Шаттл» может выполнять следующие операции: выводить научно-исследовательские лаборатории многоразового действия «Спейслэб»; запускать другие свободно летающие роботы для стыковки с модулям и спутниками с целью их ремонта; разворачивать, устанавливать и обслуживать телескопы; производить операции разгрузки и погрузки спутников в аппарат; изменять ориентацию солнечной



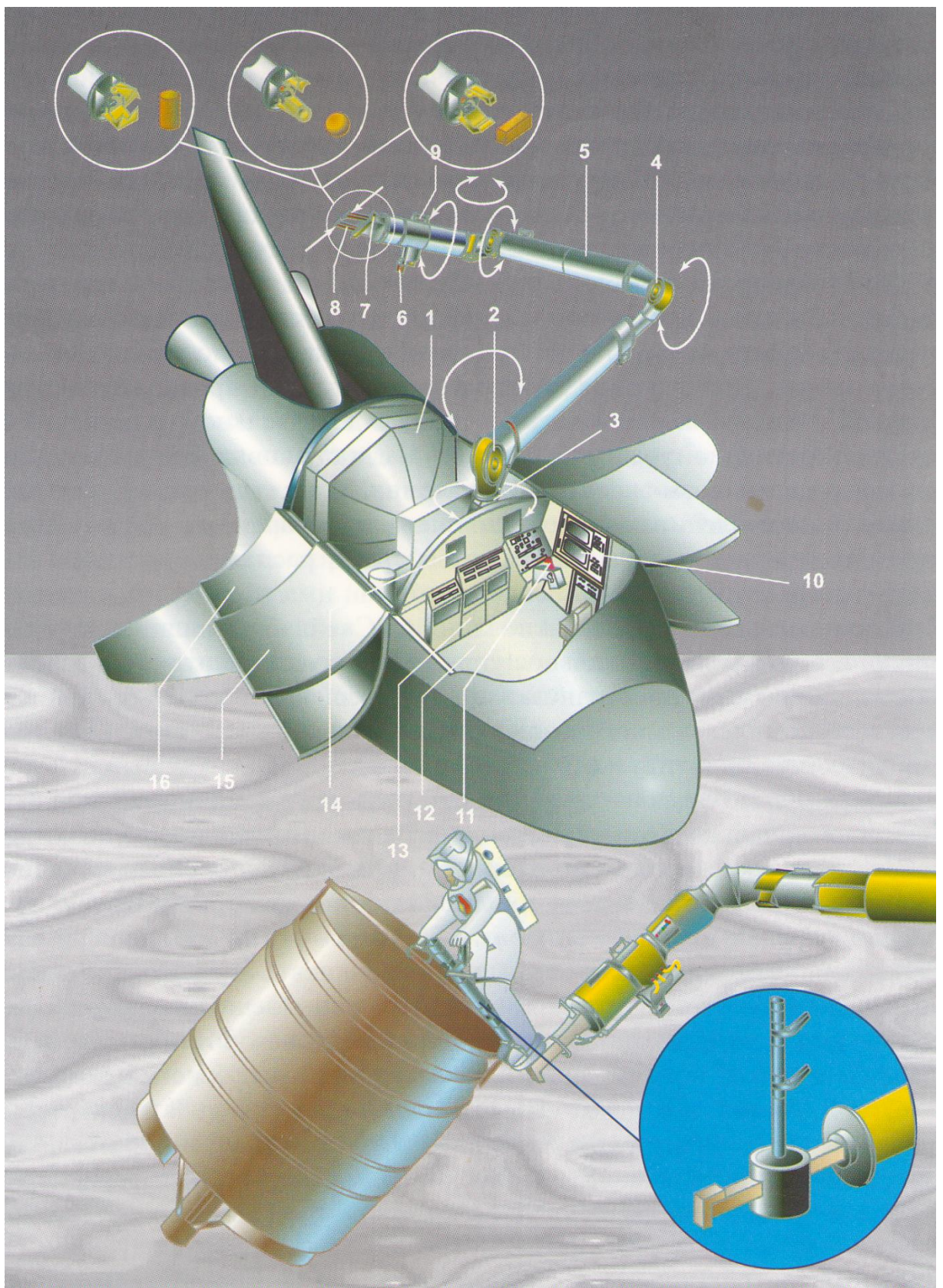


Рис.6.5. Пилотируемый аппарат многоцелевого пользования «Шаттл»

батареи, обслуживать их и при необходимости ремонтировать; выполнять операции по перемещению космонавтов в открытом космосе вблизи аппарата.

Другим примером космических роботов являются спутники дистанционного зондирования (ДЗ) Земли, которые представляют собой сложные управляемые технические устройства с элементами интеллекта, четко и

слаженно выполняющие команды и программы по съемке объектов и районов земной поверхности др. Спутники ДЗ, собирающиеся почти вручную в стерильных производственных цехах, включают в себя множество сложных и уникальных приборов и устройств, взаимоувязанных и работающих как единый технический организм. Космический аппарат ДЗ включает системы, необходимые для управления спутником: навигационные приборы, датчики углового положения, гироскопы; а также системы электропитания и обеспечения функционирования в условиях больших перепадов температур. При этом вес аппаратов может достигать 10-15 тонн. Располагаются современные спутники ДЗ в околоземном пространстве на орбитах высотой от 200 до 1000 км, за исключением геостационарных метеоспутников, находящихся на высоте около 35 тыс. км над землей. За сутки спутник совершает множество витков вокруг Земли, делая полный обзор поверхности Земли.

### *6.2.2. Подводные роботы*

Подводные роботы во многом похожи на космические роботы. Они работают во внеземных условиях, снабжены приборами навигации, связи, позиционирования. Развитие подводной робототехники связано с активным освоением морей и океанов. Подводным роботам придется решать задачи обеспечения человека уже достаточно истощенными на Земле запасами минерального и органического сырья. Подводные роботы могут осуществлять взятие проб грунта, минералов, а также образцов растительного и животного мира как со дна океанов и морей и в шельфовых зонах, так и на больших глубинах. Подводные роботы могут выполнять различные технические работы по прокладке труб, кабелю, по обслуживанию добычи нефти, газа и других необходимых полезных ископаемых, по обеспечению подводных спасательных и ремонтных работ и др. Все подводные аппараты обычно на две группы – обитаемые и необитаемые. Необитаемые в свою очередь подразделяются на буксируемые, самоходные и подводные телеуправляемые аппараты, плавающие в толще воды. Особо следует выделить, как наиболее близкие к роботам группу самоходных аппаратов. К этой группе относится созданный в США в 60-х годах «RUM I-II» (Remote Underwater Manipulator) имеющий гусеничные движители, снабженный манипулятором. В 1974-1976гг. США и ФРГ создали подводный мобильный робот «Tramp», представляющий шестиколесный управляемый по кабелю аппарат снабженный манипулятором. В Великобритании в 1977 г. был создан 4-х колесный подводный робототехнический комплекс (ПРТС) «Seabug», который мог работать на глубине 300 м. и передвигаться со скоростью до 1м/с. Основным оборудованием «Seabug» являются гидролокаторы носового и бокового обзора, гирокомпас, три телекамеры, гидролокатор секторного сканирования, акустические навигационные системы,



шестиподвижный манипулятор и другое оборудование для прокладки кабеля гидравлическим бурением. Выполняющий подобные функции оборудования имеются и на других ПРТС. Более совершенными явились ПРТС «GATOR», «FLEXJET» фирмы «Perry Offshore, Inc.» (Великобритания). Эти роботы также снабжены манипуляторами и другими рабочими органами и имеют более совершенную систему управления. Глубоководный обитаемый Российский подводный аппарат «Мир» (Рис.6.6) предназначен для исследований на глубинах до 6000 метров. Он может находиться под водой до 80 часов. Длина аппарата - 6,8 метра, ширина — 3,6 метра, а высота — 3 метра. Диаметр сферического корпуса «Мира» - 2,1 метра. Вход расположен в верхней части. На борту «Мира» могут работать одновременно три человека. Экипаж поддерживает постоянную связь с судном по гидроакустическому каналу. Когда «Мир» погружается, балластные цистерны заполняются водой, а при подъеме на поверхность включаются насосы и выкачивают воду. Ходовой электродвигатель, который питается от аккумуляторов, позволяет двигаться со скоростью до 9 километров в час. Два боковых двигателя позволяют осуществлять сложные маневры. «Мир» оборудован телевизионной видеокамерой, фотоустановкой и мощными светильниками. Два манипулятора отбирают образцы грунта, животных и растительности. Пробы воды берут батометры. Аппарат снабжен небольшой буровой установкой, что позволяет брать пробы скального грунта. Для наблюдения есть иллюминаторы.

В последнее время одним из экономически выгодных областей становится применение дистанционно управляемых подводных аппаратов (Personal & Recreational ROVs) для отдыха и развлечения.



Рис.6.6. Глубоководный аппарат «Мир»

Наиболее перспективными из подводных аппаратов являются подводные телеуправляемые аппараты и «автономные» ПРТС. Эти ПРТС должны отвечать трем условиям автономности: механической, энергетической и информационной. Механическая автономность предполагает отсутствия всякой механической связи с береговой службой и судном-носителем. Энергетическая автономность предполагает наличие источника питания. Информационная автономность обеспечивается отсутствием информационного

обеспечения. Современные ПРТС имеют сложную кибернетическую систему, поэтому их удобно классифицировать по степени совершенства систем управления (рис.6.7) [23]. Автономные подводные роботы (АПР) первого поколения работают по жесткой программе, задаваемой заранее. Более совершенные АПР второго поколения уже имеют разветвленную информационно-измерительную систему. Эти роботы в некоторой степени могут приспосабливать свое внутренне состояние и свое поведение к изменению ситуации. Наиболее совершенными являются АПР третьего поколения, обладающие элементами искусственного интеллекта. Эти роботы могут самостоятельно принимать решения, имеют систему технического зрения, имеют возможность самообучения и пополнения собственной базы данных. Как следует из рис. , дистанционно управляемые подводные роботы первого поколения имеют незамкнутую систему управления. В этих простейших роботах команды управления подаются непосредственно в исполнительные механизмы. Второе поколение предполагает наличие в автоматической системе управления обратных связей по координатам состояния объекта управления: высоте над дном, глубине погружения, скорости, угловым координатам и т. п. Эти текущие координаты сравниваются в автопилоте с заданными, определяемыми оператором. Дистанционно управляемые подводные роботы третьего поколения управляются оператором в интерактивном режиме. Система супервизорного управления предполагает уже некую иерархию, состоящую из верхнего уровня, реализуемого в компьютере судна-носителя, и нижнего уровня, реализуемого на борту подводного модуля. На верхнем уровне оператор, анализируя видеoinформацию о подводной обстановке и навигационно-пилотажные параметры вектора состояния объекта управления, поступающие с борта подводного модуля, принимает решения, реализуемые обобщенными типовыми командами. Типовая команда приводит в действие определенный алгоритм управления движением подводного робота, обеспечивающий выполнение поставленной задачи в реализуемом режиме функционирования. Набор обобщенных типовых команд зависит от конкретного назначения робота и исполнительного механизма их состав может видоизменяться и дополняться в процессе развития системы.

Состав алгоритмов выполнения типовых команд может быть, например, следующим: выход в заданную точку дна; динамическое позиционирование над объектом исследований; мягкая посадка у объекта работ; наведение по гидролокатору носового обзора; наведение на магнитную аномалию; автоматическое выведение аппарата на цель, наблюдаемую оператором на экране телемонитора; реализация программных поисковых траекторий; выход в экстремум геофизических и гидрохимических полей океана; автоматическое



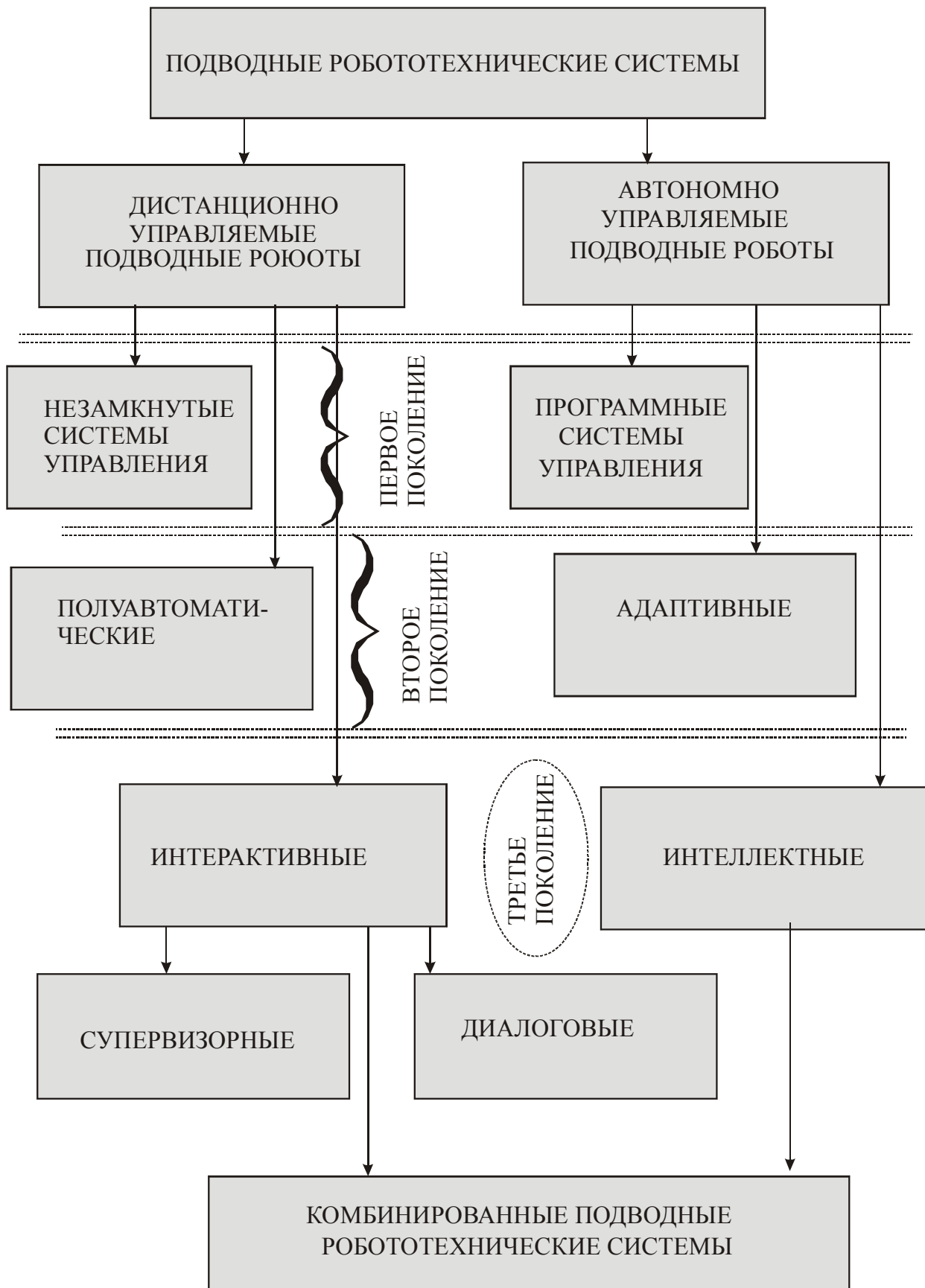


Рис.6.7. Классификация подводных роботов

отслеживание рельефа дна и обход препятствий; сближение и стыковка подводного робота с носителем или донной станцией и др. Иерархически на высшем уровне управления формируются команды, которые воспринимаются бортовым компьютером, последняя выбирает способ реализации движения и формирует задающие воздействия на исполнительные механизмы.

При разработке современных подводных роботов часто применяются многоуровневые и многозадачные структуры управления и адаптивные алгоритмы построенные, в частности, на основе нечеткой логики и со скользящим режимом. Отдельно следует остановиться на манипуляционных устройствах подводных аппаратов. В связи с тем, что круг задач решаемых подводными аппаратами достаточно широк, в этих аппаратах применяются соответственно различные по назначению и устройству манипуляционные устройства (МУ). По функциональным особенностям МУ делятся на МУ специального и общего назначения. К первым относятся простейшие МУ, конструкции которых напрямую связаны с выполняемой функцией, размером и массой переносимого объекта.

В обитаемых и необитаемых ПРТС применяются МУ общего назначения принципиально мало отличающиеся друг от друга. Отличие имеется лишь в способе передачи информации. В АПР управление работой МУ осуществляется посылкой кодированных сигналов, т.е. система управления является телемеханической. Наоборот управление МУ обитаемых ПРТС осуществляется оператором, находящимся в аппарате по проводной связи. При этом контроль за действием МУ производится в обоих случаях за счет средств телемеханики. Обычно МУ общего назначения представляет многоподвижный управляемый механизм с незамкнутой кинематической цепью. Наибольшее распространение получили МУ имеющие степень подвижности равную семи (ракитин). На рис. показана кинематическая схема одного из МУ являющегося исполнительным механизмом ПРТС. Переносная подвижность осуществляется с помощью звеньев называемых плечо, локоть, кисть. Общая степень подвижности МУ достигает девяти. По системе управления МУ делятся на следующие группы:

- простейшие механические МУ с непосредственным управлением;
- манипуляторы с автоматическим управлением;
- дистанционные манипуляторы.

МУ большинства ПРТС имеют электрогидравлические приводы. Это связано с тем, что такие приводы имеют малую стоимость, небольшую массу, приходящуюся на единицу мощности, простую конструкцию, плавность регулирования, простоту разгрузки от внешнего давления.

В настоящее время стало очевидным, что применение ПРТС позволит обеспечить выполнение практически всех подводно-технических работ и проведение исследований в недоступных для человека глубинах океанов и морей.

## 6.3. Промышленные роботы

### 6.3.1. Назначение и область применения

Промышленные роботы (ПР) по численности намного превосходят другие виды роботов. Существенной особенностью ПР является, то что они изначально предназначаются для функционирования в организованной среде. Действительно во сфере производства, где используются ПР заранее известно место расположения робота, перечень обслуживаемого оборудования, строго определены функции робота. Например, если робот обслуживает прессовое оборудование, схват робота берет деталь из питателя, кладет его на станину прессы между пуансоном и матрицей. После того, деталь вырубается, она выбрасывается вверх и схват кладет готовое изделие на конвейер или деталь укладывается в нужном месте. Это пример организованной среды. Здесь в отличии от неорганизованной и непредсказуемой среды, например, космоса или подводной среды требуются более простые по управлению роботы. Простота конструкции роботов, а также необходимость удовлетворения потребности различных сфер производства является причиной проектирования и эксплуатации большого количества роботов различной конструкции, начиная от простейших до сложных - адаптивных с элементами интеллекта.

Дополнительно к определению данному выше можно отметить, что промышленный робот — это обычно универсальная автономно функционирующая машина-автомат, предназначенная для воспроизведения без непосредственного участия человека некоторых его двигательных и умственных функций при выполнении основных и вспомогательных производственных операций. Под основными производственными операциями понимаются такие операции как, например, сварка, покраска, сборка и др. производимые роботами. Примерами вспомогательных операций являются, например, обслуживание станков, транспортировка изделий и т.д. Анализ технологических процессов и оборудования предприятий машиностроительных отраслей промышленности позволил выявить рациональные области применения промышленных роботов по видам производств [ 24]:

- литейное производство — механизация заливки расплава в пресс-формы, нанесение смазочных материалов на рабочие поверхности; обрубка облоя; уборка скрапа на конвейер; изготовление стержней; выбивка литья; очистка литья дробеметом; сортировка, погрузка, транспортировка литья; обслуживание машин литья под давлением и другого технологического оборудования;
- кузнечно-прессовое производство — обслуживание и синхронизация работы кузнечно-прессового и другого технологического оборудования на участке; обслуживание ножниц для резки металла; очистка деталей от окалины; транспортировка; передача готовых изделий на конвейер для дальнейшей транспортировки;

- механическая обработка, испытания, контроль — загрузка станков; межоперационная транспортировка деталей и заготовок; синхронизация работы станка, транспортных устройств и другого оборудования на участке;

- сборка — обслуживание сборочных автоматов, выбор и ориентация деталей, установка в рабочую позицию, перестановка, укладка в тару; выполнение крепежных операций (выбор крепежа, заворачивание шпилек, винтов, гаек); синхронизация технологического сборочного оборудования на участке;

- термообработка — обслуживание нагревательных печей и закалочных ванн; обслуживание станков термообработки токами высокой частоты; зачистка участка поверхности для замера твердости; межоперационная транспортировка деталей;

- сварка, газовая резка, пайка — транспортировка, сборка деталей для сварки и пайки; сварка по сложному контуру (работа со сварочным аппаратом, регулирование режима сварки); зачистка швов после сварки; вырезка деталей сложных конфигураций с помощью газовых и плазменных резаков; регулирование режима резки;

- мойка деталей перед окрашиванием, покраска — установка деталей на транспортное средство; обслуживание моечных ванн или камер; обслуживание окрасочных камер; окраска изделий пневмораспылителями; грунтовка и покраска пневмораспылителями крупногабаритных изделий;

- гальваническое покрытие — обслуживание камер очистки деталей; очистка деталей; работа с гидropескочистителями, дробеструйными и другими аппаратами; захват детали из тары, установка в приспособление; обслуживание ванн гальванопокрытий; управление режимом работы ванн; снятие детали, укладка в тару;



Рис.6.8. Роботы KUKA на операции сборки

- сортировка, консервация, упаковка, складирование — выбор необходимых деталей и сборочных единиц; консервация изделий методом окунания в ванну или с помощью струи; укладка изделий в тару в

заданном порядке; транспортировка, складирование, упаковка изделий и т.п.

В развитых странах при изготовлении автомобилей, самолетов и судов повсеместно используются сварочные, механосборочные и окрасочные роботы. ПР применяются на заводах по выпуску различных двигателей (электро-гидро двигателей и т.д.). На Рис.6.8. показаны роботы производящие операции сборки на конвейере. Невозможно представить области производства так называемой продукции высокой технологии без участия роботов. Так, например производство интегральных схем, сборка электронных устройств, различной аппаратуры является практически полностью автоматизированными.

### *6.3.2.Преимущества и обоснование применения*

Остановимся вкратце на некоторых преимуществах роботизации производства. Существующие средства механизации и автоматизации ручных работ, основных и вспомогательных производств, включая сборочные автоматы, простейшие манипуляторы, автооператоры, выполняются в виде специальных конструкций. Изменение конструкции одного и того же изделия выпускаемого производством влечет за собой каждый раз необходимость изменения конструкции средств механизации и автоматизации. Часто при переходе на производство нового изделия используемые ранее средства производства (станки и др. оборудование) становятся ненужными. В таких случаях применение современных ПР позволит быстро перепрограммировать применительно к новым требованиям технологического процесса. Следует отметить, что при ручной загрузке технологического оборудования или ручной сборке производительность труда является величиной переменной, зависящей от квалификации рабочего и его физических возможностей. В таких условиях трудно синхронизировать работу оборудования и добиться оптимальной его производительности. С применением промышленных роботов появляется возможность стабилизировать производительность определенного оборудования технологического участка, упорядочить производство и создать предпосылки для оптимальной его организации. Промышленные роботы дают возможность автоматизировать технологические процессы, которые трудно автоматизировать другими способами. ПР являются необходимыми компонентами комплексной автоматизации производства и входят в состав гибких производственных систем (ГПС), автоматизированных линий (АЛ), роботизированных технологических комплексов (РТК). Под ГПС понимается автоматизированное (почти безлюдное) производство, на вход которого подается техническое задание на определенное изделие или группу изделий, а на выходе выдается готовая продукция. АЛ является составной частью ГПС или отдельно функционирующей производственной единицей входящей в состав другого производства. РТК – это совокупность автономно действующих технологических средств производства, включающих основное и вспомогательное оборудование, один или несколько ПР, обеспечивающие

автоматизированные работы во взаимосвязи со входными и выходными потоками остального производства. Комплексное использование технологического оборудования в совокупности с промышленными роботами дает возможность высвободить часть основного и вспомогательного персонала.

При обосновании применения промышленных роботов указывают на то, что ПР позволяет: облегчить труд рабочего, т.е. освободить его от неквалифицированного, монотонного, а также тяжелого и вредного труда; обеспечить условия безопасности труда, снижение потерь рабочего времени от производственного травматизма и профессиональных заболеваний; повысить производительность труда и качество выпускаемой продукции на основе снижения времени выполнения операций и обеспечения длительного режима работы «без усталости». Как метко отметил один американский эксперт роботы «не хандрят, не уезжают в отпуск, не отлучаются с рабочего места покурить или побеседовать». ПР выполняют производственные операции по 24 ч. в сутки. По данным японской фирмы «Фанук» при непрерывной работе ПР отказывают в среднем меньше одного раза в четыре года. ПР обеспечивает стабильность энергозатрат за счет круглосуточной работы оборудования. ПР позволяет интенсифицировать существующие и стимулировать создание новых автоматизированных технологических производств. Не сложно рассчитать в результате применения роботов экономится фонд заработной платы за счет сокращения рабочих. Применение ПР часто необходимо для обеспечения быстрого действия автоматизированного производства. Человек не только выполняет действия намного медленнее чем некоторые ПР, но даже управляя оборудованием из-за своей инертности не укладывается в отведенное техпроцессом время. Так, например, время инертности человека при управлении промышленным оборудованием составляет порядка 0,8-1 с. [25]. Выпуск аэрозольного клапана, собираемого на автоматической роторно-конвейерной линии составляет приблизительно 0,06 с. В таких случаях запаздывание оператора является фактором сдерживающим производительность линии. В этом случае, естественно управляемое оператором оборудование необходимо заменить на управляемую автоматически машину- ПР . Преимущества ПР перед человеком заключается не только в быстродействии, но иногда и в точности выполнения многократно повторяющихся заданных движений.

При обосновании роботизации обычно в начале изучается взаимодействие человека с оборудованием и определяется рациональная схема замены ручного труда. Для этого приходится принять во внимание множество факторов, например, такие как: расположение вспомогательного технологического оборудования накопители, поворотные столы, магазины готовых изделий и заготовок, транспортеры, основного оборудования (станок, кузнечно-прессовое оборудование). Т.е. решается задача моделирования РТК. При этом необходимо предусмотреть, возможность изменения номенклатуры изделия, последовательности и времени исполнения технологической операции. Нельзя упускать из виду такие вопросы как контроль качества

операции путем контроля размеров, допусков, соблюдения других норм установленных технологическим процессом, а также норм безопасности. В результате моделирования из множества РТК выбирается наиболее приемлемый. Затем производится экспериментальная оценка спроектированного РТК, его доработка, после чего РТК вводится в эксплуатацию.

### *6.3.3. Классификация ПР*

Существует большое количество признаков, по которым можно классифицировать ПР [17] так, например по характеру выполняемых операций ПР подразделяются на:

1) Производственные (технологические), выполняющие основные операции технологического процесса. К этим роботам относятся сварочные, окрасочные, сборочные, контрольно-измерительные роботы.

2) Подъемно-транспортные (вспомогательные). Эти роботы выполняют действия по перемещению деталей, установка –снятие инструмента и др. Например, некоторые обрабатывающие станки с числовым программным управлением (ЧПУ) снабжаются манипулятором для смены инструмента.

3) Универсальные роботы сочетают признаки первых двух групп, выполняя разнородные технологические операции.

4) Специального назначения. Такие роботы получили распространение в металлургии, например, для обслуживания высокотемпературных печей, для пробивки летки в плавильных печах и т.д.

По мобильности ПР подразделяются на стационарные и передвижные. Следует отметить, что в последнее время из передвижных ПР получили широкое распространение автоматически управляемые тележки - робокары. По конструктивному исполнению ПР делятся на встроенные в оборудование, напольные и подвесные. Существуют и другие признаки по которым классифицируются ПР, например производится классификация по характеру программирования, по типу приводов. О разделении роботов по этим признакам будет сказано ниже при описании систем управления и приводов.

Анализ конструктивно-технологических особенностей ПР позволил разделить ПР на группы в зависимости от вида системы координат, в которых работают роботы и как следствие по виду зоны обслуживания. Множество линий, проходящих через крайние положения схватов образует поверхность, которая определяет границу области в которой может находиться схват- эта область называется зоной обслуживания робота. Известно, что большинство ПР имеют кинематическую цепь (совокупность взаимосвязанных звеньев), подобную руке человека. Такая кинематическая цепь (КЦ) называется незамкнутой. Всю кинематическую цепь манипулятора робота можно

разделить на КЦ для выполнения переносных движений рабочего органа (схвата) и на КЦ для ориентации схвата. Из анализа КЦ существующих ПР установлено, что Универсальный промышленный робот "Unimate" — одна из наиболее совершенных машин подобного типа. Он был создан фирмой "Unimation Inc." (США) в 1963 г. На рис. 6.9 изображена кинематическая схема промышленного робота "Unimate".

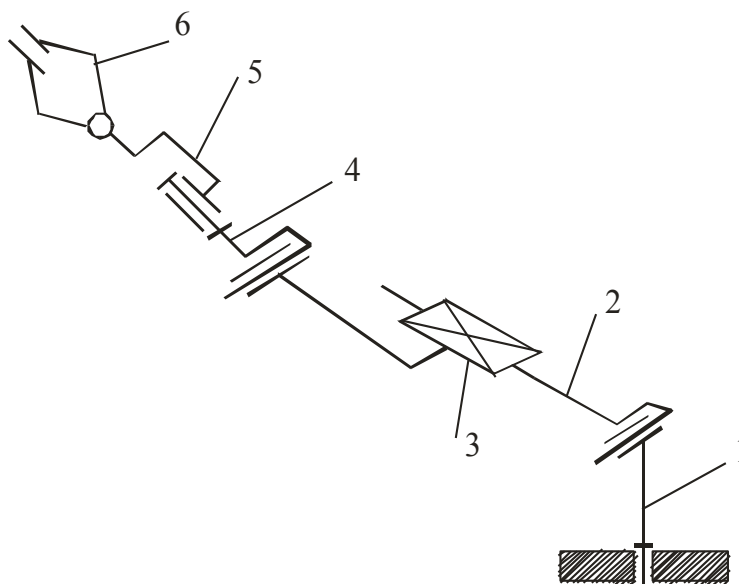


Рис.6.9. Кинематическая схема ПР Unimate

Она содержит стойку 0 и шесть подвижных звеньев 1—6, а также шесть низших кинематических пар пятого класса, одна из которых поступательная, а остальные — вращательные. Число степеней свободы этого механизма определяется числом кинематических пар и равно шести. Рабочая зона, которую может обслуживать промышленный робот "Unimate", и его общий вид приведены на рис. 1.20. Масса робота составляет примерно 1600 кг, грузоподъемность при работе на номинальных скоростях — 34 кг, при повышенных скоростях — 11,3 кг. Скорость линейного перемещения кисти 4 — 0,762 м/с, скорости поворота руки 2 относительно вертикальной оси робота, а также кисти относительно оси предплечья 3 одинаковы и равны 110 град./с, скорость качания руки — 30 град./с. Угол поворота руки робота относительно вертикальной оси находится в пределах  $\pm 110^\circ$ , качание руки в вертикальной плоскости  $\pm 30^\circ$ , рабочий объем робота составляет примерно 10 м<sup>3</sup>, точность позиционирования —  $\pm 1,27$  мм. Захват 5 имеет возможность вращения относительно горизонтальной оси на угол  $\pm 110^\circ$  и относительно собственной оси  $\pm 90^\circ$ . Робот оснащен набором сменных захватов для работы с различными объектами действия. Движения робота (кроме захвата) осуществляются от гидравлических приводов поступательного перемещения. Привод захвата — пневматический; он обеспечивает зажим на конце захвата длиной 100 мм усилием 1360Н. Агрегаты робота смонтированы на одной раме 1. Пульт управления установлен в задней части робота. Система управления — по-



зиционная. Робот может содержать два блока памяти, выполненные каждый на магнитном барабане. Объем памяти может делиться либо на шесть программ по 30 команд, либо на три программы по 60 команд. Система позволяет подключать внешние устройства для синхронизации работы робота с технологическим оборудованием. Программирование работы производится методом обучения в процессе наладки. При этом рука робота с помощью пульта ручного управления последовательно проводится оператором по необходимой траектории движения захвата с остановкой в заданных точках. При остановке в каждой заданной позиции на пульте управления нажимается кнопка записи. При этом координаты положения руки и кисти фиксируются в памяти робота. В память робота вводятся также команды на открытие и закрытие захвата, команды системам управления технологическим оборудованием или на прием внешних сигналов, уровень точности позиционирования, сигналы включения временной задержки робота в данной позиции. Информация по данной позиции, внесенная в блок памяти, определяет шаг программы. В режиме воспроизведения программы захват робота проходит последовательно все заданные точки траектории с задержкой в каждой позиции. При этом переход к очередному шагу программы происходит после выполнения следующих условий: рассогласование сигналов заданного и отработанного положений приводов равно нулю; получены внешние сигналы об исполнении команд управления технологическим оборудованием; время задержки робота в данной позиции окончено. Система управления роботом позволяет вносить коррективы в программу путем включения режима обучения и проведения перезаписи команды на том шаге программы, который необходимо исправить. Скорость движения робота при записи может быть номинальной или пониженной. В последнем случае при воспроизведении программы скорость движения можно менять, добиваясь наименьшего времени выполнения операций. Промышленный робот "Unimate" может работать в помещениях с наибольшей температурой 50 °С. Его захват может нести раскаленные заготовки при операцияхковки, штамповки или литья под давлением. При этом нагрев захвата допускается до температуры не выше 120 °С.

Промышленный робот "Unimate" применяется для выполнения технологических операций в литейном, кузнечно-прессовом, сварочном, механо-сборочном, при термической обработке и других видах производств.

Большое распространение в Японии получили модификации робота Unimate, выпускаемая японской фирмой Хитачи. Роботы принято разделять на три поколения по уровню развития системы управления. Если роботы первого поколения работали по программе в строго организованной среде, то роботы второго поколения обладая сенсорными устройствами и адаптивной системой управления имеют большие возможности для применения и не требуют строгой организации среды. Роботы третьего поколения в настоящее время создаются и совершенствуются. Отличительной чертой этих роботов является более совершенная система управления и информационно-измерительная система,

наличие системы компьютерного управления. В этих роботах используются интеллектуальные системы управления.

В настоящее время применение промышленных роботов обеспечивается ведущими компаниями, среди которых японские (Fanuc, Kawasaki, Motoman, OTC Daihen, Panasonic, ), американские (КС Robots, Triton Manufacturing, Kaman Corporation), немецкая (Kuka).

#### **6.4. Роботы с параллельными манипуляторами, платформенные роботы**

В настоящее время исполнительные механизмы многих роботов, станков имеют одно и много контурные замкнутые кинематические цепи [27].

Ниже даны примеры механизмов, содержащих замкнутые контуры. Требуемую степень свободы (от двух до шести) объекту позиционирования обеспечивают роботы-позиционеры. Исполнительные механизмы роботов-позиционеров имеют приводные кинематические пары, расположенные на основании. Позиционер соединяется с ними посредством пространственной кинематической цепи. Таким образом, исполнительный механизм робота-позиционера представляет многоподвижный пространственный механизм, который содержит три и более замкнутых кинематических цепей. На рис.6.10. показано строение исполнительного механизма робота-позиционера, имеющего шесть степеней свободы. Элементарные линейные перемещения позиционера 13 вдоль выбранных осей координат и угловые перемещения вокруг осей координат осуществляются совместным движением в приводных кинематических парах 1-0, 2-0, 3-0, 4-0, 5-0, 6-0, а также с помощью кинематических цепей из звеньев 1-12-13, 2-11-13, 3-8-13, 4-7-13, 5-9-13, 6-10-13. Управляемый механизм робота-позиционера содержит шесть замкнутых кинематических цепей (шесть контуров). Например, кинематическая цепь, составленная из звеньев 0-3-8-7-4-0, образует замкнутый контур. В роботах-позиционерах приводные кинематические пары расположены непосредственно на основании. Подвижные звенья могут образовывать с основанием поступательные или вращательные приводные кинематические пары. Благодаря особенностям строения исполнительных механизмов, роботы-позиционеры обладают высокой жесткостью, точностью позиционирования и большой грузоподъемностью. К их недостаткам следует отнести ограниченность зоны обслуживания, сложность решения в однозначном виде прямой и обратной задач кинематики.

*Механизм, в котором выходное звено связано с основанием несколькими кинематическими цепями, каждая из которых либо содержит приводы, либо налагает на выходное звено некоторое число связей, называют механизмом с параллельной структурой или параллельными манипулятором.*

Как следует из определения, механизмы многих параллельных манипуляторов представляют многоконтурные многоподвижные пространственные механизмы. В этих механизмах существенно влияние подвижностей звеньев соседних кинематических цепей друг на друга. Поэтому для выполнения

заданного перемещения выходного звена необходимо обеспечить согласованные перемещения в приводных кинематических парах различных кинематических цепей.

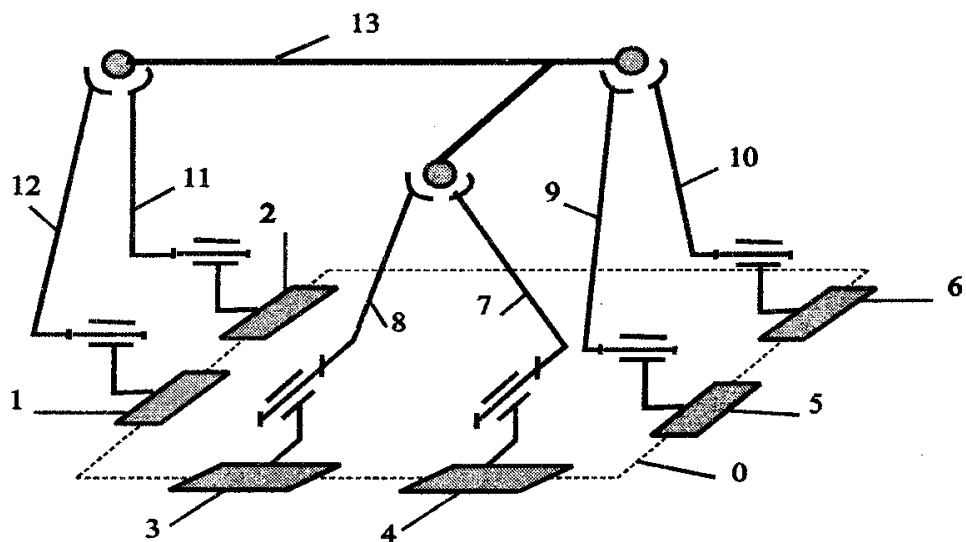


Рис.6.10 Схема строения манипулятора робота-позиционера

Встречаются и другие названия этих механизмов: с параллельной топологией, с параллельными приводами, платформенного типа, параллельные высоких классов. Первым представителем управляемых механизмов с



Рис.6.11. Платформа Гофа-Стюарта

параллельной структурой является платформа Гофа-Стюарта (рис.6.11.).

Платформа Гофа-Стюарта имеет платформу 3, соединенную посредством шести кинематических цепей (2) с основанием (1). Платформа имеет 6 управляемых степеней свободы благодаря шести приводам 3. Этот робот используется в стыковочных узлах космических аппаратов, применяется для имитации полета при обучении летчиков и т.д.

В настоящее время класс механизмов с параллельной структурой постоянно расширяется. Так, например, созданы так называемые гибридные механизмы с параллельной структурой, кинематические цепи которых имеют, наряду со звеньями, образующими замкнутые контуры, последовательно соединенные звенья, образующие незамкнутые кинематические цепи. К другому классу так называемых избыточных манипуляторов с параллельной структурой относятся манипуляторы, в строение которых, для исключения взаимного влияния движения звеньев, включаются дополнительные кинематические пары. Все эти механизмы можно также отнести к многоконтурным пространственным многоподвижным механизмам. Большое число связанных общим движением звеньев существенно усложняет как анализ, так и синтез этих механизмов.

Автором [27] предложены многоподвижные одноконтурные пространственные управляемые механизмы, которые не имеют многих недостатков свойственным многоподвижным механизмам с незамкнутой кинематической цепью, механизмам параллельных манипуляторов. На рис.6.12 *a, b* показаны действующая модель робота КазНТУ и его кинематическая схема.



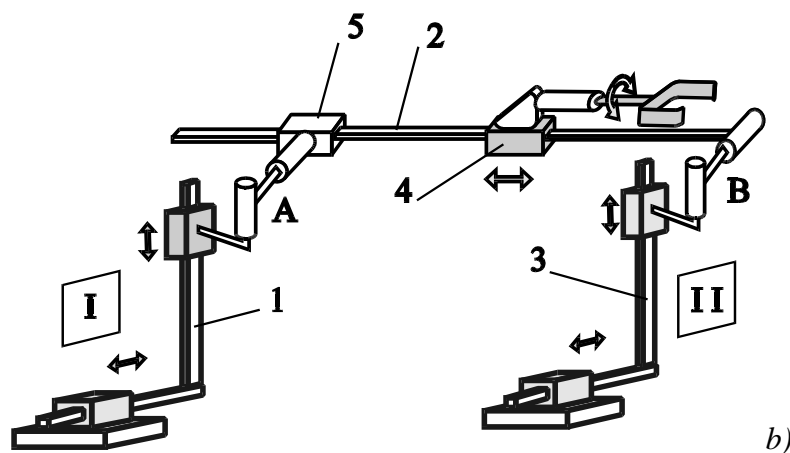


Рис.6.12. Робот КазНТУ

Механизм (рис.6.12,*a*) состоит из двух двухподвижных кинематических цепей (1),(3) и соединительного звена 2. Два поступательных движения в каждом из кинематических цепей совершаются в параллельных плоскостях **I** и **II**, а поступательные движения звена 4 относительно платформы 2 - в направлениях, пересекающих плоскости **I** и **II**. Управляемый шестиподвижный механизм робота КазНТУ обеспечивает объекту манипулирования шесть степеней свободы. Одной из особенностей данного механизма является также и то, что его соединительное звено имеет переменную длину за счет призматического соединения 2-5, а захватное устройство, имеющее возможность ротации, может располагаться как между центрами шарниров А и В, так и вне их.

Основные преимущества многоподвижных одноконтурных механизмов данного класса заключаются в том, что они имеют большое отношение массы груза к массе робота, обладают высокой жесткостью, менее энергоемки и позволят достаточно точно осуществить синтез программного движения, так в этих механизмах однозначно решается прямая и обратная задача о положении.

В Казахстане (КазНИТУ им.К.И. Сатпаева) создан шестиподвижный платформенный робот (рис.6.12,*a*) с кинематической схемой, показанной на рис.6.12,*b*. Робот(рис.6.12,*a*), оснащен датчиками давления 3, магнитострикционными датчиками перемещения 2, тензометрическими датчиками 1. Исполнительными устройствами гидравлической системы являются нагнетательные 4 и сливные 5 электромагнитные клапана. Гидросистема питается от гидронасоса 6.

Как показано на кинематической схеме (рис.6.12,*b*), нижняя платформа 1 представляет треугольник со сторонами  $a_1, b_1, c_1$ , а верхняя платформа 3 – треугольник со сторонами  $a_2, b_2, c_2$ . Эти платформы соединяются с помощью шести кинематических цепей (соединительных звеньев), состоящих из двух звеньев: 3-3<sub>1</sub>, 4-4<sub>1</sub>, 5-5<sub>1</sub>, 6-6<sub>1</sub>, 7-7<sub>1</sub>, 8-8<sub>1</sub>, соединенных поступательной кинематической парой. По сравнению с платформой Гоф-Стюарта данный робот имеет ряд преимуществ, а именно:



a)

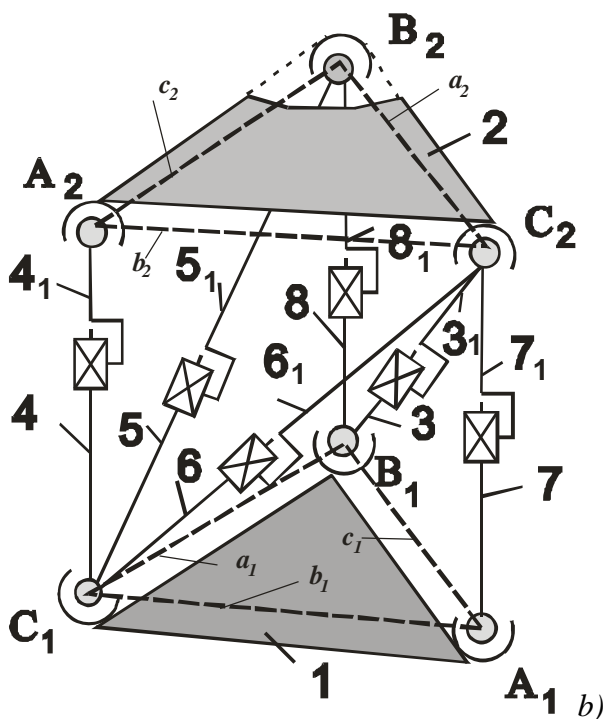


Рис.6.12. Робот SHOLKOR

1. Каждый из шести приводов может двигаться независимо друг от друга. Например, можно изменить длину одного соединительного звена с помощью привода, не изменяя длин других соединительных звеньев. При этом верхняя платформа займет строго определенное положение по отношению к нижней платформе.

2. Изменяя заданным образом длины определенной совокупности соединительных звеньев можно получить любое требуемое пространственное положение подвижной платформы или простейшие его движения относительно нижней.

3. Каждому пространственному положению подвижной платформы соответствуют определенные длины соединительных звеньев. Из этого следует, что можно перемещать подвижную платформу как ведущее звено, при этом, как следствие будут изменяться длины соединительных звеньев.

Вместе с тем платформенный робот имеет высокую жесткость и грузоподъемность.

### ***Вопросы для самопроверки***

- 1. Укажите на классификацию роботов по назначению.*
- 2. Приведите примеры роботов, применяемых в космосе.*
- 3. Какие задачи решают подводные роботы.*
- 4. Как классифицируются подводные роботы по характеру управления.*
- 5. Что вы понимаете под промышленным роботом.*
- 6. Какие функции в технологическом процессе выполняют роботы.*
- 7. Какие преимущества для производства дает применение промышленных роботов.*
- 8. Какие манипуляторы называются параллельными.*
- 9. Приведите примеры манипуляторов с замкнутыми цепями, созданных в Казахстане.*
- 10. Перечислите преимущества робота «КазНТУ».*
- 11. Перечислите преимущества робота SHOLKOR.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юревич Е.И. Основы робототехника.- 2-е изд. перераб. и доп.-СПб ПХВ-Петербург, 2005.-416 с.
2. Исин Т. и др. Мехатроника.-М.: Мир, 1988.-318 с.
3. Бройиль Т. Встраиваемые робототехнические системы: проектирование и применение мобильных роботов со встроенными системами управления.- М.-Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований 2012.-520 с.
4. Подураев Ю.В. Мехатроник: основы, методы, применение: учебное пособие для вузов.- Машиностроение, 2006.-256 с.
5. Angeles, J, *Fundamentals of Robotic Mechanical Systems. Theory, Methods, Algorithms*, Fourth Edition, Springer, New York, 2014
6. Казмиренко В.Ф. Электрогидравлические мехатронные модули движения. Основы теории и системное программирование.- М.: Радио и связь, 2001.-432 с.
7. Попов Е.П., Верещагин А.Ф., Зенкевич СЛ. Манипуляционные роботы: динамика и алгоритмы.- М.: Наука, 1978.-400 с.
8. Тимофеев А.В. Эволюция теории и средств управления в робототехнике и мехатронике // Мехатроника. 2000. №2. с. 2-7.
9. Зенкевич СЛ., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами.-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. -400с.
- 10.Медведев В.С., Лесков А.Г., Ющенко А.С. Системы управления манипуляционных роботов.-М.:Наука,1978.-416 с.
11. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника.-М.: Мир, 1989.-624 с.
- 12.Каляев И.А., Гайдук А.Р. Принципы построения систем планирования поведения интеллектуальных роботов на базе однородных нейроподобных структур // Мехатроника. 2000. №3 с.21-25.
- 13.Шоланов К.С. Синтез схемы строения и решение задачи позиционирования параллельного манипулятора платформенного типа// Мехатроника. Автоматизация и управление. 2014. №11..
- 14.Олсон Г. Пиани Д., Цифровые системы автоматизации и управления.- СПб.: Невский диалект, 2001.- 557 с.
- 15.Угрюмов Е. Цифровая схемотехника.- СПб.: БХВ - Санкт-Петербург-, 2000.-528 с.
16. Шнайдер А. Язык Ассемблера для персонального компьютера фирмы IBM.- М.: Мир, 1988.- 406 с.
- 17.Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник. -М.: Машиностроение, 1983.-376 с.
- 18.Герман - Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. - СПб.: КОРОНА принт, 2001.-320 с.



19. Сабинин Ю.А. Позиционные и следящие электромеханические системы.- СПб.: Энергоатомиздат, 2001.-208 с. 20.
20. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ.-Л.: Машиностроение. Ленинг. Отд-ние, 1990.-588 с.
21. Агеев М.Д. и др. Актуальные вопросы использования автономных необитаемых подводных аппаратов. Часть. 1//Мехатроника, Автоматизация и управление. №2, 2003.
22. Агеев М.Д. и др. Актуальные вопросы использования автономных необитаемых подводных аппаратов. Часть.2//Мехатроника, Автоматизация и управление. №6, 2003.
23. Ракитин И.Я. Подводные робототехнические системы.-М.2002.-191.
24. Мачульский И.И. и др. Робототехнические системы и комплексы. -М.: Транспорт. 1999.-466 с.
25. Merlet, J.-P.: Parallel Robots (Series: Solid Mechanics and Its Applications). Springer (2006)
26. Афонин В.Л. и др. Обработка оборудования на основе механизмов параллельной структуры.-Издательство МГТУ СТАНКИН, 2006.452 с.
27. Шоланов К.С. Многоподвижные механизмы с замкнутыми кинематическими цепями.-Алматы: Гылым, 1999.-149 с.
28. Sholanov K. Manipulator of a Platform Type Robot Sholkor, J. Advanced Materials Research Vol.930 (2014) pp321-326.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Предисловие	4
	Введение	6
	ГЛАВА 1	
	История развития робототехники и мехатроники	8
1.1	Условия становления и развития робототехники	8
1.2	Основные факторы, обусловившие зарождение и развитие мехатроники	12
1.3	Взаимные связи между мехатроникой, робототехникой и другими научными отраслями	13
	Вопросы для самопроверки	15
	Глава 2	
	Структура и классификация мехатронных систем	16
2.1	Определение и предмет Мехатроники	16
2.2	Структура мехатронных систем	17
2.3	Классификация мехатронных систем	22
	Вопросы для самопроверки	24
	Глава 3.	
	Системы управления мехатронными и робототехническими системами	25
3.1	Задачи системы управления	25
3.2	Иерархическая структура системы управления МС и РС	26
3.2.1	Системы управления интеллектуальной уровня	27
	Планирование движения на стратегическом уровне управления	30
3.2.3	Планирование на тактическом уровне	32
3.2.4	Исполнительный уровень управления	35
3.3	Технологии интеллектуального управления	36
3.3.1	Технология экспертных систем	37
3.3.2	Технология нейросетевых структур	39
3.3.3	Технология нечетких систем	42
3.3.4	Технология применения генетических алгоритмов	45
3.3.5	Гибридные технологии	47
3.4	Программное обеспечение систем управления	51
	Вопросы для самопроверки	78
	Глава 4.	
	Составные модули мехатронных и робототехнических систем	52
4.1	Человеко-машинный интерфейс	52
4.2	Управляющие комплексы	53
4.2.1	Структура управляющего комплекса	54
4.2.2	Запоминающие устройства	57

4.2.3	Структура процессора	59
4.2.4	Современные управляющие комплексы	61
4.3	Информационно-измерительные и коммуникационные системы	62
4.3.1	Информационно-измерительные системы	62
4.3.2	Коммуникационные системы	64
4.4	Исполнительные устройства. Мехатронные модули движения	65
4.4.1	Пневматические ММД	66
4.4.2	Электрогидравлические ММД	68
4.4.3	Электромеханические ММД	70
	Вопросы для самопроверки	77
	Глава 5.	
	Мехатронная техника	78
5.1	Станки с ЧПУ - пример мехатронной техники	78
5.2	Накопитель на жестких дисках - винчестер	82
5.3	Офисная мехатронная техника	86
	Вопросы для самопроверки	88
	Глава 6	
	Роботы	89
6.1	Назначение и области применения роботов	89
6.2	Роботы для экстремальных сред	91
6.2.1	Роботы, применяемые в космосе	91
6.2.2	Подводные роботы	95
6.3	Промышленные роботы	100
6.3.1	Назначение и область применения	100
6.3.2	Преимущества и обоснование применения	102
6.3.3	Классификация и примеры ПР	104
6.4	Роботы с параллельными манипуляторами, платформенные роботы	107
	Вопросы для самопроверки	112
	Список литературы	113

**К.С. Шоланов**

# **ОСНОВЫ МЕХАТРОНИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ**

**Учебник**

**Рекомендовано Министерством образования и науки  
Республики Казахстан  
в качестве учебника для студентов  
технических специальностей вузов Казахстана**

Бумага офсетная Формат 70x100/8  
Плотность 80гр/см. 95%. Печать РИЗО.  
Усл.печ.8. Объем 128 стр.



Отпечатано в типографии ТОО«Эверо»  
РК, Алматы, ул. Байтурсынова, 22  
тел.: 8 (727) 233 83 89, 233 83 43,  
233 80 45, 233 80 42  
e-mail: evero08@mail.ru