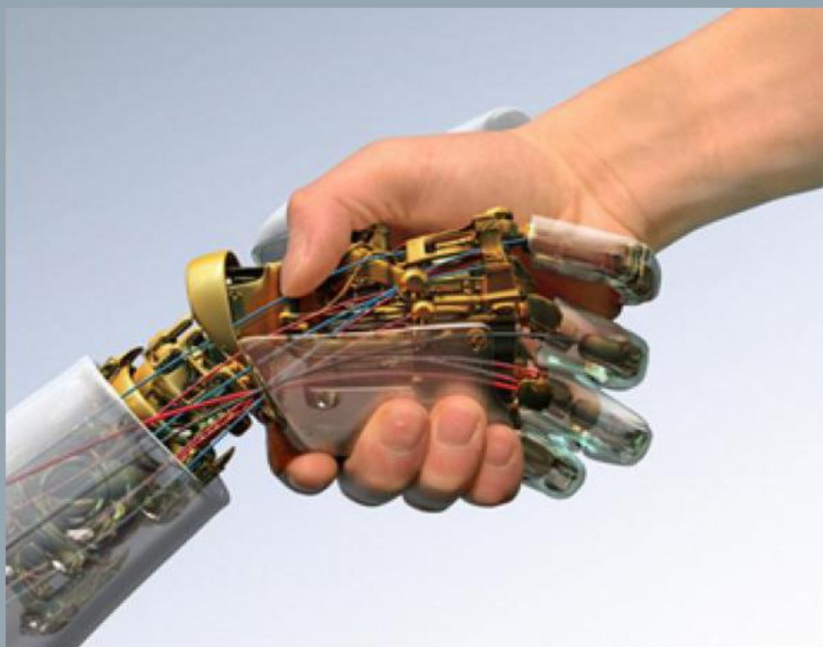




МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

С.А.Шахворостов

# РОБОТЫ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ



Красноярск  
2016



МОСКОВСКИЙ  
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(МАДИ)

С.А. ШАХВОРОСТОВ

# **РОБОТЫ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Учебное пособие

Утверждено  
в качестве учебного пособия  
редсоветом МАДИ

Красноярск, 2016

УДК 621.865.8-52

ББК 32.965

Ш 31

Рецензенты:

Д-р техн. наук, профессор МАДИ В.И.Марсов,  
д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э.Баумана Строганов В.Ю.

**Ш 31 Шахворостов, С.А.**

**Роботы в системах автоматизации** [Электронный ресурс] : учеб. пособие/ С.А. Шахворостов. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 6 МБ). – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2016. – 110 с.

ISBN 978-5-906314-55-0

doi: [10.12731/asu.madi.ru/RSA.2016.110](https://doi.org/10.12731/asu.madi.ru/RSA.2016.110)

В учебном пособии изложены основные определения, области применения, устройство и системы управления основными типами промышленных роботов, используемых в системах автоматизации технологических процессов. Приведены примеры разработки и схемотехнической реализации систем управления роботами.

Пособие предназначено для подготовки студентов, специализирующихся в области автоматизации и роботизации технологических процессов и производств.

Пособие также может быть использовано в качестве дополнительной литературы для студентов механических специальностей, изучающих курсы «Автоматизация машин» и «Автоматизация технологических процессов в машиностроении».

УДК 621.865.8-52

ББК 32.965

ISBN 978-5-906314-55-0

© Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет (МАДИ), 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Применение роботов в современном промышленном производстве и в строительстве обусловлено, прежде всего, с созданием принципиально новых технологических процессов, не связанных с весьма обременительными ограничениями, налагаемыми непосредственным участием в них человека. При этом имеется в виду как действительно очень ограниченные физические возможности человека (по грузоподъемности, быстродействию, точности, повторяемости и т. п.), так и требуемую для него комфортность условий труда. Сегодня необходимость непосредственного участия человека в технологическом процессе зачастую является серьезным препятствием при интенсификации производства и создании новых технологий.

Универсальность роботов дает возможность автоматизировать любые операции, выполняемые человеком, а быстрота перестройки на выполнение новых операций при освоении новой продукции или иных изменениях в производстве позволяет сохранить за автоматизируемым с помощью роботов производством, по крайней мере, ту же гибкость, которую на сегодня имеют только производства, обслуживаемые человеком.

Целью настоящего учебного пособия является начальная подготовка студентов в области автоматизации технологических процессов с использованием роботов.

Для достижения указанной цели в пособии последовательно рассмотрены основные определения, области применения, устройство, приводы и системы управления современными роботами.

Значительная часть пособия посвящена методическим примерам построения управляющих систем роботов при вариации элементной базы для использования в различных системах автоматизации.

## 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РОБОТИЗАЦИИ.

### 1.1. Основные понятия и определения.

Происхождение слова «робот» имеет славянские корни. Впервые ещё в 1920 г. его ввел известный чешский писатель К. Чапек в своей фантастической пьесе «R. U. R.» («Россумовские универсальные роботы»), где фигурировали, так называемые, механические рабочие, предназначенные для замены людей на тяжелых физических работах. Чешское слово "robota" означает тяжелый подневольный труд.

У американского писателя А. Азимова в цикле рассказов "Я робот" был тот же подход во взгляде о том, что собой должно представлять устройство называемое "роботом".

Ошибочность их видения заключалась в том, что и Чапек и Азимов представляли робота как копию человека, которому присуще выполнение лишних функций не нужных для осуществления конкретных задач.

Термин "промышленный робот" появился в 70-е годы.

По определению японских специалистов [8], имеющих наивысшие достижения в области робототехники, современный **робот – это гипотетическое устройство, которое по своим функциональным возможностям приближается к возможностям человека.**

Основными задачами робототехники являются разработка теоретических методов и технологических приемов для реализации функций человека в виде конкретных технических устройств, обеспечивающих эффективное выполнение определенного технологического процесса.

Современный человек, далекий от решения задач практической робототехники, отождествляет робота с механическим устройством, наделенным разумом, органами чувств и имеющим внешнее и функциональное сходство с человеком или каким-либо другим живым существом.

В специальной литературе встречаются самые разнообразные определения понятия робота. Остановимся на формулировке, резюмированной на основании опроса 156 экспертов.

**РОБОТ** – это универсальная автоматическая система для воспроизведения физических и интеллектуальных функций человека, способная адаптироваться к реальным условиям путем активного информационного и двигательного взаимодействия с окружающей средой.

В соответствии с данным определением робот в общем случае должен состоять из следующих взаимосвязей систем.

**Система связи** – совокупность вводно-выводных устройств, обеспечивающих обмен информацией между роботом и человеком (от человека – кнопки, клавиатура, переключатели; от робота – система оптических и звуковых сигнализаторов).

**Информационная** (сенсорная) **система** – совокупность искусственных органов чувств для восприятия и преобразования информации о состоянии окружающей среды и двигательной системы.

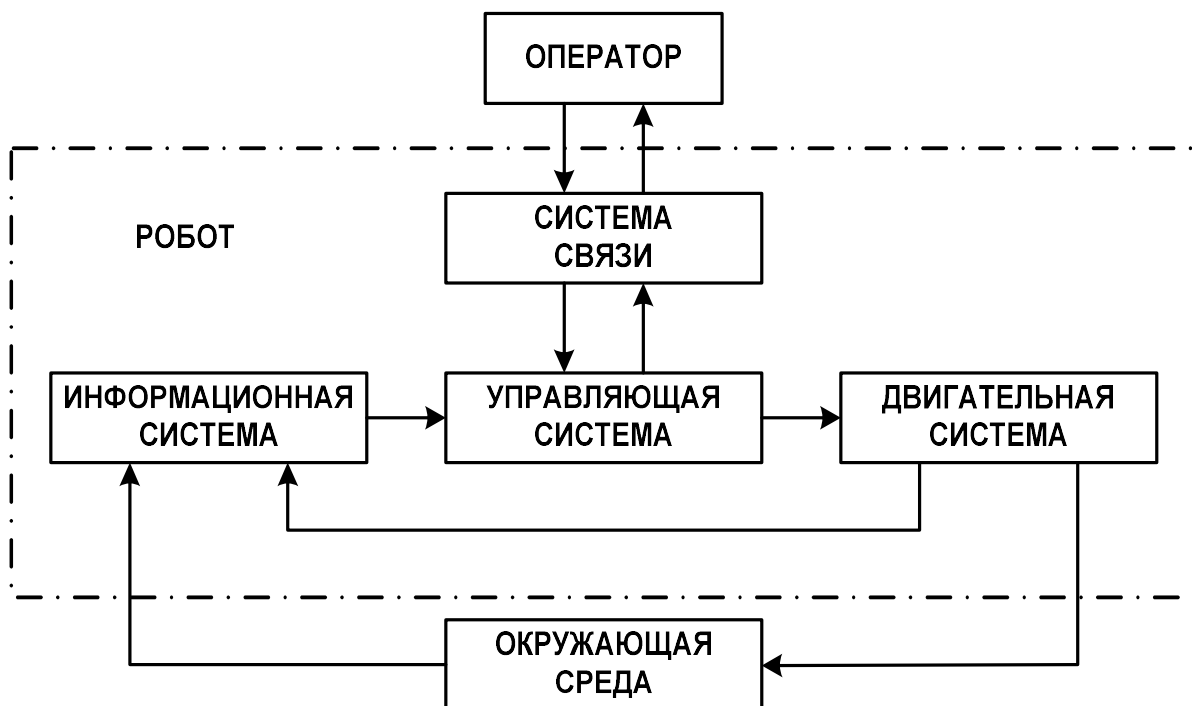


Рис. 1.1. Обобщенная функциональная схема промышленного робота

**Управляющая** (интеллектуальная) **система** – программируемое логическое устройство, предназначенное для формирования команд управления манипуляторами двигательной системы на основе анализа сигналов, поступающих от оператора и от информационной системы.

**Двигательная система** – комплекс исполнительных устройств (сервоприводов и манипуляторов) непосредственно воздействующих на окружающую среду.

Роботы обладают следующими потенциальными преимуществами перед людьми:

- теоретическая бессмертность — если какая-то деталь робота изнашивается, её легко заменить новой;
- потенциальная приспособленность к любым условиям обитания, где материалы, из которых сделан робот, будут находиться в стабильном состоянии;
- легкость получения новых особей — можно собирать промышленным способом;
- легкость обучения — достаточно скопировать программу другого робота в нового;
- робота можно отключить, если он не нужен, и хранить в таком виде.

Однако пока у роботов по сравнению с людьми проявляются следующие недостатки:

- изготовление более-менее универсального и надёжного робота обходится слишком дорого;
- настоящий искусственный интеллект не создан.

Очевидно, вследствие технического прогресса цена робота, выполняющего один и тот же набор функций, должна снижаться. Поэтому следует ожидать исчезновения первого указанного недостатка со временем. Второй же недостаток — отсутствие искусственного интеллекта — вполне может оказаться непреодолимым хотя бы потому, что мы не знаем, как работает интеллект естественный, и не факт, что когда-либо узнаем.

## 1.2. Области применения промышленных роботов

В настоящее время робототехнические системы находят достаточно широкое применение в машиностроении, промышленности, производящей средства производства, а также в легкой и пищевой промышленности.

Вместе с тем на основе данных системного анализа [3,4, 8] может быть представлен перечень других отраслей, также нуждающихся в роботизации.

1. Транспортировка грузов и складское хозяйство.
2. Лесное хозяйство.
3. Горное дело, добыча полезных ископаемых, проходка.
4. Инженерно-строительные и строительно-монтажные работы.
5. Дорожное строительство и строительство насыпных инженерных сооружений (дамб, плотин).

Роботизация технологических операций является важным направлением автоматизации технологических процессов в строительстве. Роботизации строительных работ предшествует тщательный анализ технологических операций и процессов. Предметом анализа являются технические, организационные, социальные и экономические факторы.

В первую очередь в ходе обследования оценивают уровень механизации и автоматизации строительных процессов и уровень сложности операций. Результаты пооперационного анализа позволяют предварительно установить уровень сложности роботизируемого процесса и техническую целесообразность использования средств робототехники.

Анализ средств технологического оснащения позволяет оценить возможность совместной работы используемого технологического оборудования со средствами роботизации или принять решение о необходимости его замены.

В процессе оценки целесообразности роботизации учитывают возможности максимальной загрузки технологического оборудования и внедряемых средств робототехники, затраты времени на перемеще-

ние агрегата в пределах объекта и на другой объект, а также потери времени на монтаж и наладку оборудования.

Программирование, эксплуатация и техническое обслуживание средств робототехники требует специальной квалификации. Поэтому на стадии анализа роботизируемых строительных процессов следует рассмотреть вопросы структуры кадров и уровня их квалификации.

Оценка экономической целесообразности роботизации отдельных строительных процессов осуществляется на основе анализа затрат и расчета их окупаемости. При этом необходимо учитывать совместимость внедряемых средств робототехники с другим технологическим оборудованием. Объекты роботизации считаются выбранными, если они обеспечивают экономический или другой, например, социальный эффект. Окончательное решение о целесообразности роботизации лучше принимать на основании экспертных оценок и заключения специалистов о том, что роботизация данных операций или процессов технически и экономически осуществима.

При разработке роботизированного технологического процесса анализируют все особенности и приемы выполнения операций действующего технологического процесса и выбирают те, которые обеспечивают наибольшую производительность и наилучшее качество. При необходимости выполняют изменение технологии производства работ.

Современная робототехника возникла на основе синтеза механики и кибернетики и дала толчок новому направлению их развития. Для механики это оказалось связано с многозвенными механизмами типа манипуляторов, а для кибернетики — с интеллектуальным управлением, которое требуется для роботов последнего поколения с искусственным интеллектом.

Таким образом, задача робототехники — это развитие и синтез механики и кибернетики с целью создания и применения роботов и основанных на их использовании робототехнических систем различного назначения.

Роль роботов в таких системах и комплексах может широко варьироваться, — от основной, когда роботы осуществляют главные

функции, до вспомогательной, когда роботы обслуживают основное или вспомогательное оборудование, выполняющее эти функции. Системы и комплексы, автоматизированные с помощью роботов, принято называть роботизированными. Роботизированные системы и комплексы, в которых роботы выполняют основные функции, называют робототехническими.

Первые роботы были выпущены фирмой AMF в 1962 г. в США, затем в: 1966 г. в СССР (ЭНИКМАШ); 1967 г. в Великобритании; 1968 г. в Швеции и Японии; 1971 г. в ФРГ; 1972 г. в Франции; 1973 г. в Италии. Эти роботы представляли собой устройства, совершающие некоторые действия по заданной программе и не имеющие конкретного предназначения. Лишь в 1971 г. появились первые "современные" роботы промышленного назначения – промышленные роботы, и автоматизированные на их базе технологические комплексы — роботизированными технологическими комплексами (РТК).

Одной из главных причин создания промышленных роботов во всем мире является экономия средств. Кроме этого внедрение в действующие производства промышленных роботов открывают широкие перспективы для создания принципиально новых технологических процессов. Дополнительно, существующие технологические процессы связаны с обременительными ограничениями, налагаемыми на непосредственное участие человека. К таким ограничениям можно отнести как физические возможности человека (по грузоподъемности, быстродействию, точности, повторяемости и т. п.), так и требуемую для него комфортность условий труда (соответствующее качество атмосферы, отсутствие вредных внешних воздействий и т. п.).

В настоящее время в промышленности применяют роботы трех основных групп (поколений):

1. Роботы первого поколения. К ним относятся неперепрограммируемые роботы, работающие по жесткой программе: механические руки и роботы с числовым программным управлением. Эти роботы характеризуются неспособностью адаптироваться к изменяющимся условиям работы и имеют постоянную программу движения не зависимо от наличия объекта манипулирования. Применяются для реше-

ния простых производственных задач, требуют жесткого порядка входа в систему (ориентации детали или инструмента в пространстве, заданного времени срабатывания, наличия защитных блокировок и т.п.). Это автооператоры и механические руки.

2. Роботы второго поколения. Это адаптивные агрегаты, работающие по гибкой программе, оснащенные датчиками внешней среды и визуальными системами. Для управления ими применяют персональные компьютеры, микропроцессоры и программируемые контроллеры. Эти роботы используются для решения более сложных задач, чем промышленные роботы 1-го поколения.

3. Роботы третьего поколения. К ним относятся интегральные, или интеллектуальные роботы, которые способны полностью адаптироваться к условиям работы и производства, обладают возможностью автоматического сбора и обработки информации. Управление осуществляется с помощью промышленных компьютеров с эвристической программой, где оператор программирует только конечную цель, а сами действия и их порядок определяет программа.

Важно отметить, что поколения промышленных роботов не сменяют друг друга, а дополняют и работают там, где это наиболее целесообразно. Промышленные роботы 1-го поколения способны заменить порядка 2% рабочих; 2-го поколения – 25-30%; 3-го поколения – до 60%.

## **2. УСТРОЙСТВО ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ**

### **2.1. Состав, параметры и классификация роботов**

Робот как машина [11] состоит из двух основных частей — исполнительных устройств и устройства управления. В свою очередь исполнительные устройства включают одно или несколько манипуляционных устройств (обычно в виде механических манипуляторов), которые являются отличительным признаком роботов как нового типа машин в целом, и устройство передвижения, имеющееся только у подвижных роботов.

Для того чтобы ознакомиться с характеристиками роботов, рассмотрим их классификацию по основным показателям, которые определяют тип робота. Первым таким показателем, в соответствии с которым все роботы делятся на наиболее крупные группы, является их назначение, т. е. область применения. Перечень основных областей применения роботов дан в таблице 2.1. Сфера использования роботов непрерывно расширяется и соответственно растет перечень типов роботов, определяемых их основным назначением.

Таблица 2.1

| Страна        | Сварка | Окраска, отделка | Сборка | Литье | Загрузо-разгрузочные операции | Прочее |
|---------------|--------|------------------|--------|-------|-------------------------------|--------|
| Япония        | 14,6   | 1,7              | 31     | 7,4   | 45,3                          |        |
| США           | 40     | 12               | 1,0    | 20,0  | 20                            | 7      |
| ФРГ           | 55,6   | 15,8             | 5      | 0,6   | 23                            | —      |
| Швейцария     | 10     | 10               | 20     | 10    | 50'                           | —      |
| Англия        | 28,8   | 18,6             | 1,3    | —     | 39,6                          | 11,7   |
| Дания         | 2,9    | 6,3              | 4,6    | 11,5  | 74,7                          | —      |
| Финляндия     | 6,6    | 10,8             | 2,4    | 8,9   | 36,6                          | 34,7   |
| Бельгия       | 42,9   | 19,0             | 4,8    | —     | 33,3                          | —      |
| Голландия     | 40     | 40               | —      | —     | 20                            | —      |
| Россия        | 4      | 6                | 12     | 1     | 60                            | 17     |
| Всего в мире: | 15,0   | 4,3              | 24,0   | 7,1   | 47,0                          | 21,2   |

*Рис.2.1. Распределение парка промышленных роботов в мире по областям применения (в %)*

Сегодня основным таким типом являются промышленные роботы (ПР), которые предназначены для применения в промышленности и составляют 85—90 % всего парка роботов в мире. В свою очередь промышленные роботы (как и роботы других назна-

чений) делятся на ряд типов более узкого назначения (например, робот окрасочный, сварочный, транспортный, для обслуживания станков, прессов, литейных машин и т. д.). При этом все промышленные роботы вне зависимости от их конкретного основного назначения делятся по степени универсальности применения на три типа: универсальные, специализированные и специальные.

*Универсальные роботы* предназначены для выполнения разных операций и в том числе для работы совместно с различными видами оборудования. *Специализированные роботы* имеют более узкое назначение и осуществляют одну определенную операцию (например, сварку, окраску, обслуживание оборудования определенного вида), а *специальные роботы* выполняют только одну конкретную операцию (например, обслуживают конкретную модель технологического оборудования).

По виду технологических операций промышленные роботы подразделяются на роботы, осуществляющие основные технологические операции, и роботы, выполняющие вспомогательные технологические операции по обслуживанию технологического оборудования. Соответственно первые роботы можно назвать основными, а вторые — вспомогательными. Основные роботы относятся к основному технологическому оборудованию, а вспомогательные — к средствам автоматизации.

Классификация роботов по показателям, определяющим их конструкцию. К таким показателям относят:

Тип приводов робота, его грузоподъемность, количество манипуляторов, тип и параметры их рабочей зоны, подвижность и способ размещения, исполнение по назначению. Рассмотрим эти показатели последовательно.

Т и п ы п р и в о д о в , используемых в роботах, делятся на электрический, гидравлический и пневматический. Часто их применяют в комбинации; например, в звеньях манипулятора большой грузоподъемности используют гидравлический привод, а в его захватном устройстве — более простой и маломощный пневматический привод, достаточный, однако, для удержания объек-

тов манипулирования. Приводы роботов будут рассмотрены позднее.

Грузоподъемность робота обуславливается грузоподъемностью его манипуляционных устройств (манипуляторов), при нескольких манипуляторах — грузоподъемностью наиболее мощного из них. В свою очередь грузоподъемность манипулятора определяется *массой* перемещаемых им объектов и в зависимости от назначения робота может составлять от единиц грамм (например, у роботов, применяемых в микроэлектронике) до нескольких тысяч килограмм (например, у транспортных и космических роботов).

Промышленные роботы по грузоподъемности делятся на сверхлегкие — до 1 кг, легкие — свыше 1 до 10 кг, средние — свыше 10 до 200 кг, тяжелые — свыше 200 до 1000 кг, сверхтяжелые — свыше 1000 кг.

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

Тип и параметры рабочей зоны манипуляторов робота определяют область окружающего его пространства, в пределах которой, робот может осуществлять свои манипуляции, не передвигаясь, т. е. при неподвижном основании.

*Рабочая зона* манипулятора — это пространство, в котором находится его рабочий орган при всех возможных положениях звеньев манипулятора. Форма рабочей зоны определяется, во-первых, *типом системы координат*, в которой осуществляется движение рабочего органа манипулятора, — прямоугольная, цилиндрическая, сферическая, угловая (ангулярная) и различные их комбинации. Во-вторых, она зависит от числа *степеней подвижности* манипулятора. Имеются манипуляторы с числом степеней подвижности более семи, хотя их количество в общем парке роботов не превышает 2 %.

Размер рабочей зоны обусловлен диапазоном перемещений звеньев манипулятора по отдельным степеням подвижности и прежде всего максимальными значениями этих (поступательных и угловых) перемещений (ходом).

Подвижность робота определяется наличием или отсутствием у него устройства передвижения. В первом случае роботы называют *подвижными*, а во втором — *стационарными*. Для перемещения роботов применяют устройства передвижения практически всех известных типов: от наземных колесных и гусеничных до устройств, предназначенных для передвижения в воде, глубинах земли, в воздухе и космосе. Созданы опытные образцы первых шагающих роботов.

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

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

| Тип привода    | Грузо-подъемность           | Количество манипуляторов                              | Рабочая зона манипулятора                                                | Подвижность робота             |
|----------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Электрический  | Сверхлегкие<br>$F < 1$ кг   | В основном -<br>одноманипуля-<br>торные.              | Прямоугольная,<br><br>цилиндрическая,<br><br>сферическая,<br><br>угловая | Подвижные,<br><br>стационарные |
|                | Легкие<br>$1 < F < 10$      |                                                       |                                                                          |                                |
| Гидравлический | Средние<br>$10 < F < 200$   | Реже -<br>двух-, трех- и<br>четырёх<br>манипуляторные |                                                                          |                                |
|                | Тяжелые<br>$200 < F < 1000$ |                                                       |                                                                          |                                |
| Пневматический | Сверхтяжелые<br>$1000 < F$  |                                                       |                                                                          |                                |

*Рис.2.2. Классификация по конструктивным параметрам*

**Классификация роботов по способу управления.** Как уже было сказано во введении, роботы могут быть с программным, адаптивным и интеллектуальным управлением [6].

**Адаптивное управление** – это управление с обратной связью, имеющее блок учета внешних факторов, которые анализируются еще до того, как получен результат деятельности системы. При этом блок управления получает информацию об изменении значения фактора одновременно с управляемым объектом или, при наличии прогноза, даже раньше, и принимаются меры по нейтрализации его влияния, либо по согласованию мер для увеличения его положительного эффекта.

**Интеллектуальное управление** — это управление, в котором используют различные подходы искусственного интеллекта, такие как искусственные нейронные сети, нечеткая логика, машинное обучение, эволюционные вычисления и генетические алгоритмы.

Управление движением по отдельным степеням подвижности может быть *непрерывным (контурным)* и *дискретным (позиционным)*. В последнем случае управление движением осуществляют, задавая конечную последовательность точек (позиций) и последующее перемещение по ним шагами от точки к точке без задания и контроля параметров траекторий между этими точками. (Координаты этих точек можно задавать в зависимости от ти-

па конкретного устройства управления в дискретной или непрерывной формах, так же, как и траектории движения при непрерывном управлении.)

Простейшим вариантом дискретного (позиционного) управления является *цикловое*, при котором количество точек позиционирования по каждой степени подвижности минимально, т. е. чаще всего ограничено двумя — начальной и конечной координатами.

К важным параметрам систем управления роботом, определяющим их эксплуатационные возможности, относятся **о б ъ е м** **п а м я т и** устройства управления, **т и п ы** и **к о л и ч е с т в о** **к а н а л о в** **с в я з и** с внешним оборудованием (в **т о м** **ч и с л е** и с другими роботами) и с человеком-оператором, **а** **т а к ж е** назначение и способы взаимодействия с оператором. Сюда, прежде всего, включают способы программирования робота и оперативного участия **о п е р а т о р а** в реализации движений роботом. Объем памяти устройства управления робота наряду с ее оценкой количеством двоичной информации, которая может быть в нее записана, определяется **е щ е** наибольшим числом заносимых в память программ и составляющих **и х** кадров, т. е. групп команд, соответствующих отдельным элементарным движениям робота.

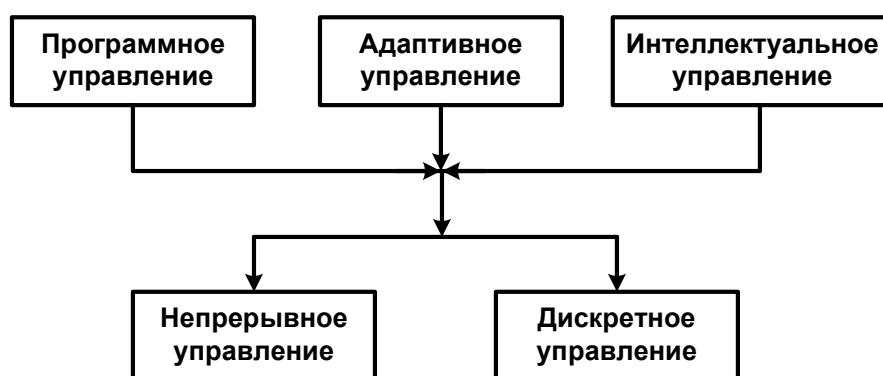


Рис.2.3. Классификация по способу управления

**Классификация роботов по быстродействию и точности движений.** Эти параметры взаимосвязаны и характеризуют дина-

мические свойства роботов. Быстродействие и точность роботов складывается из **их** значений для манипуляторов и устройства передвижения. Специфическими и главными в робототехнике являются, конечно, быстродействие и точность манипуляторов.

*Быстродействие манипулятора* определяется скоростью его перемещения по отдельным степеням подвижности.

Быстродействие роботов общего применения можно разбить на три следующие группы:

малое — при линейных скоростях по отдельным степеням подвижности до 0,5 м/с;

среднее — при линейных скоростях свыше 0,5 до 1 м/с;

высокое — при линейных скоростях свыше 1 м/с.

Большинство современных роботов имеют среднее быстродействие и только 20 % их общего парка — высокое быстродействие.

Для значительной части областей применения роботов этот параметр очень важен, так как определяет их производительность. Указанное выше быстродействие современных роботов является пока, безусловно, недостаточным и требуется увеличить его, по крайней мере, вдвое. Основная трудность здесь связана с известным противоречием между быстродействием и другим не менее важным параметром — точностью.

*Точность манипулятора* характеризуется результирующей погрешностью позиционирования (при дискретном движении) или отработки заданной траектории (при непрерывном движении).

Чаще всего точность роботов характеризуют абсолютной погрешностью.

Точность роботов общего применения можно разбить на следующие три группы:

малая — при линейной погрешности от 1 мм и выше;

средняя — при линейной погрешности от 0,1 до 1 мм;

высокая — при линейной погрешности менее 0,1 мм.

Подавляющее количество роботов в мире имеет среднюю точность, т. е. погрешность их манипулирования *измеряется де-*

сятыми долями миллиметра. Однако существуют роботы с точностью до единиц микрометров (например, для электронной промышленности и сборки в приборостроении). Погрешность манипулирования роботом, предназначенных для выполнения наиболее грубых, например транспортных, движений, превышает 1 мм.

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

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

**Параметры, определяющие технический уровень роботов.** Наряду с классификационными параметрами роботы характеризуются параметрами, которые обуславливают их технический уровень. К ним относятся и некоторые из рассмотренных выше параметров, которые могут иметь количественное выражение: быстродействие, точность, объем памяти, число каналов связи с внешним оборудованием. Однако если при использовании этих параметров для классификации роботов их разбивают на классификационные группы и тип робота определяют по принадлежности значения данного параметра к определенной такой группе, то сравнительную оценку технического уровня робота производят исходя из конкретных численных значений параметров.

Другими параметрами, характеризующими технический уровень роботов, являются надежность, число одновременно работающих степеней подвижности, время программирования, а также основанные на перечисленных выше параметрах различные относительные и комбинированные показатели. К ним относятся,

в частности, удельная грузоподъемность, отнесенная к массе робота; выходная мощность манипулятора (произведение грузоподъемности на скорость перемещения), отнесенная к мощности его приводов; относительные оценки габаритных параметров, манипуляционных кинематических и динамических характеристик, управляемости робота, возможностей программирования, экономической эффективности и т. п. Однако эти относительные показатели технического уровня уже не являются паспортными параметрами, а служат критериями качества, предназначенными для оптимизации при проектировании и сравнительной оценке роботов.

## **2.2. Манипуляционные устройства роботов**

На сегодня основным типом манипуляционных устройств роботов служат механические манипуляторы. Они представляют собой разомкнутую кинематическую цепь, составленную из кинематических пар, имеющих одну, реже две степени подвижности с поступательным или угловым перемещением рабочего органа, расположенного на конце манипулятора, и приводов, чаще всего отдельных для каждой степени подвижности [11].

Степени подвижности манипулятора делятся на *переносные* и *ориентирующие*. Переносные степени подвижности служат для перемещения объекта манипулирования в пределах рабочей зоны манипулятора, а ориентирующие — для его ориентации.

Теоретически минимально необходимое число переносных степеней подвижности для перемещения объекта манипулирования в любую точку совершенно свободной рабочей зоны равно трем. Однако для расширения манипуляционных возможностей и обеспечения требуемых значений, кинематических и динамических параметров манипулятора (реализации более сложных траекторий движения, например, для обхода препятствий, повышения быстродействия и т. п.) манипуляторы обычно снабжают несколькими избыточными переносными степенями подвижности,

хотя это, разумеется, существенно усложняет и повышает стоимость робота.

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

Приводы манипулятора, которые, как уже указывалось, могут быть электромеханическими, гидравлическими и пневматическими, обычно размещают непосредственно в звеньях манипулятора или выносят на его основание с передачей движения на соответствующее звено через передаточные механизмы различного типа.

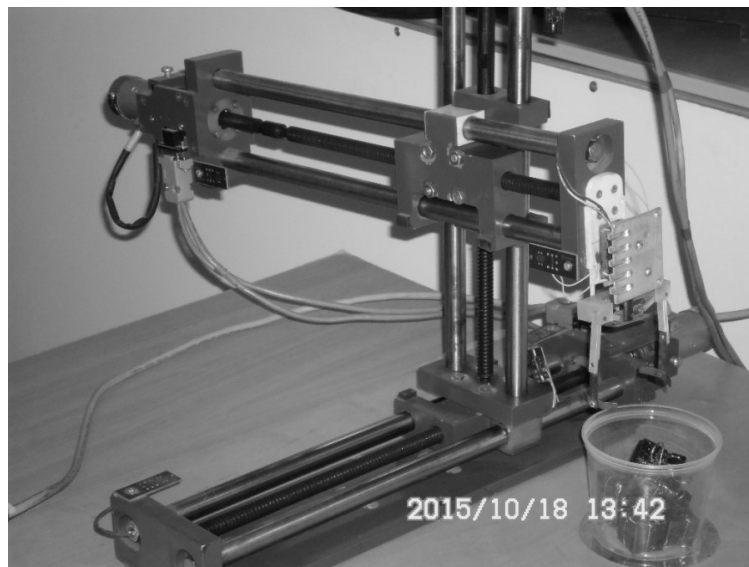
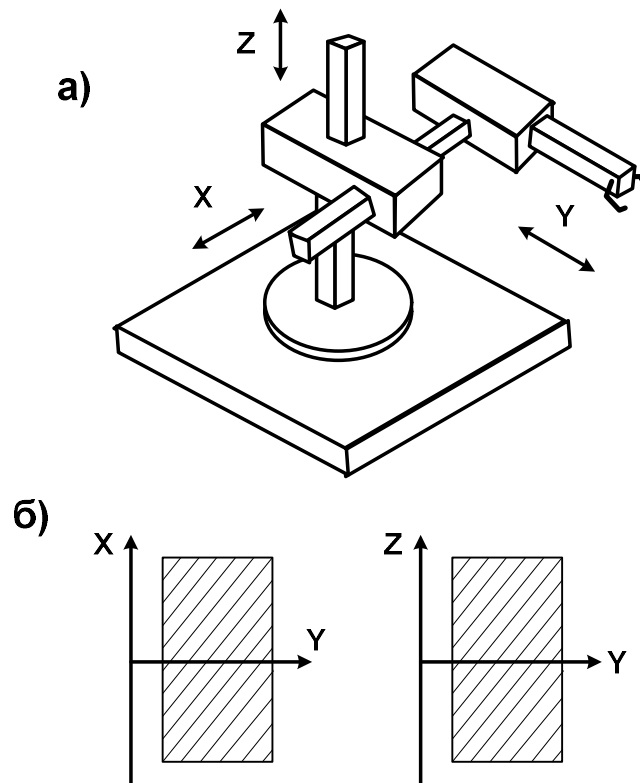
Место размещения приводов в значительной степени определяет конструкцию манипулятора. Размещение приводов непосредственно в звеньях манипулятора существенно упрощает кинематические связи, что также способствует повышению точности. Недостатком такой компоновки является увеличение массы подвижной части манипулятора. Последнее ведет к снижению его грузоподъемности и динамических параметров. В связи с этим обычно, оптимизируя конструкцию манипуляторов, прибегают к комбинации этих двух вариантов размещения приводов для разных степеней подвижности.

Для снижения мощности приводов широко используют различные устройства уравнивания.

На рис. 2.4—2.7 показаны конструкции манипуляторов с тремя переносными степенями подвижности в различных системах координат и их рабочие зоны.

Манипуляторы, работающие в прямоугольной системе координат (рис. 2.4), имеют рабочую зону в виде параллелепипеда. Здесь осуществляются только поступательные перемещения, и поэтому такая система координат наиболее удобна для выполнения прямолинейных движений. Кроме того, она максимально упрощает программирование робота, так как оно обычно выполняется именно в прямоугольной си-

стеме координат, и, следовательно, в этом случае не требуется пересчета программ из одной системы координат в другую.



*Рис. 2.4. Манипулятор с прямоугольной системой координат*

В манипуляторах, работающих в цилиндрической системе координат (рис. 2.5), наряду с поступательными перемещениями произ-

водится одно угловое перемещение (по окружности). Соответственно, рабочая зона имеет форму цилиндра.

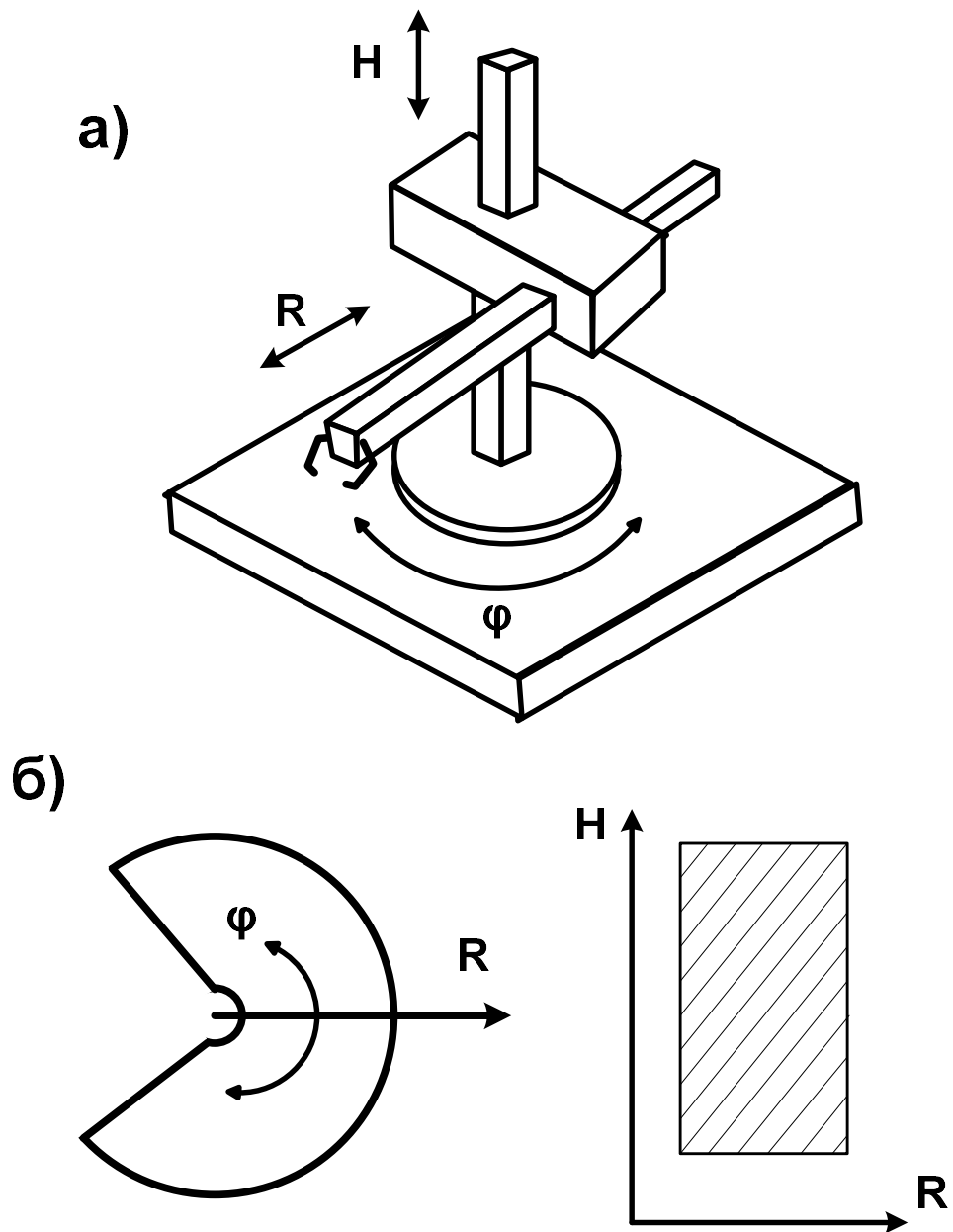
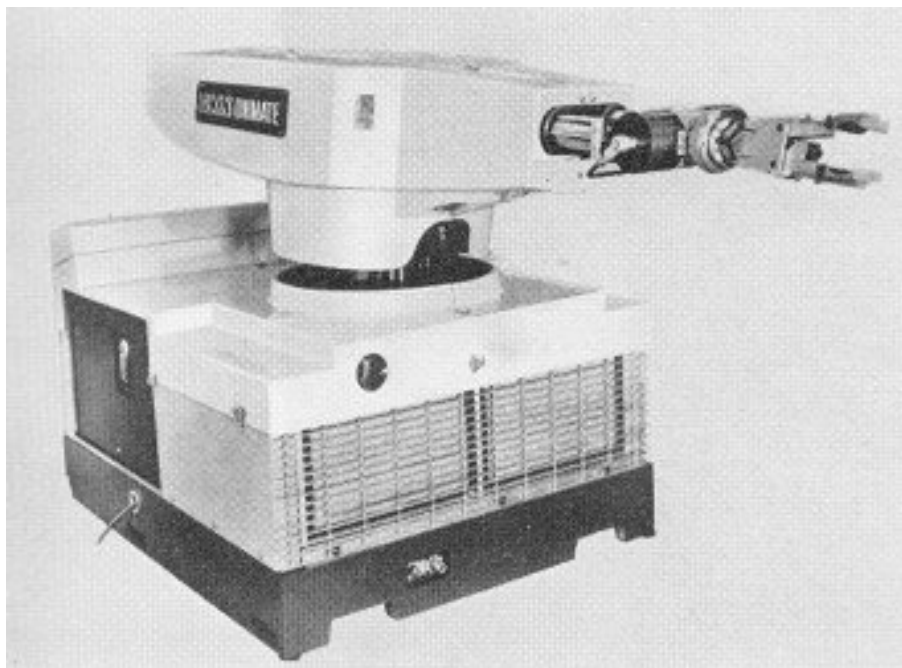
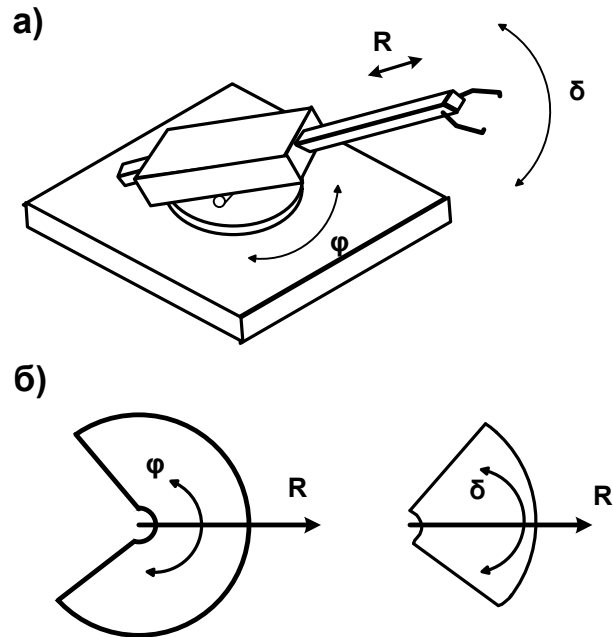


Рис. 2.5. Манипулятор с цилиндрической системой координат

В случае сферической системы координат (рис. 2.6) осуществляются уже два угловых перемещения и рабочей зоне присуща фор-

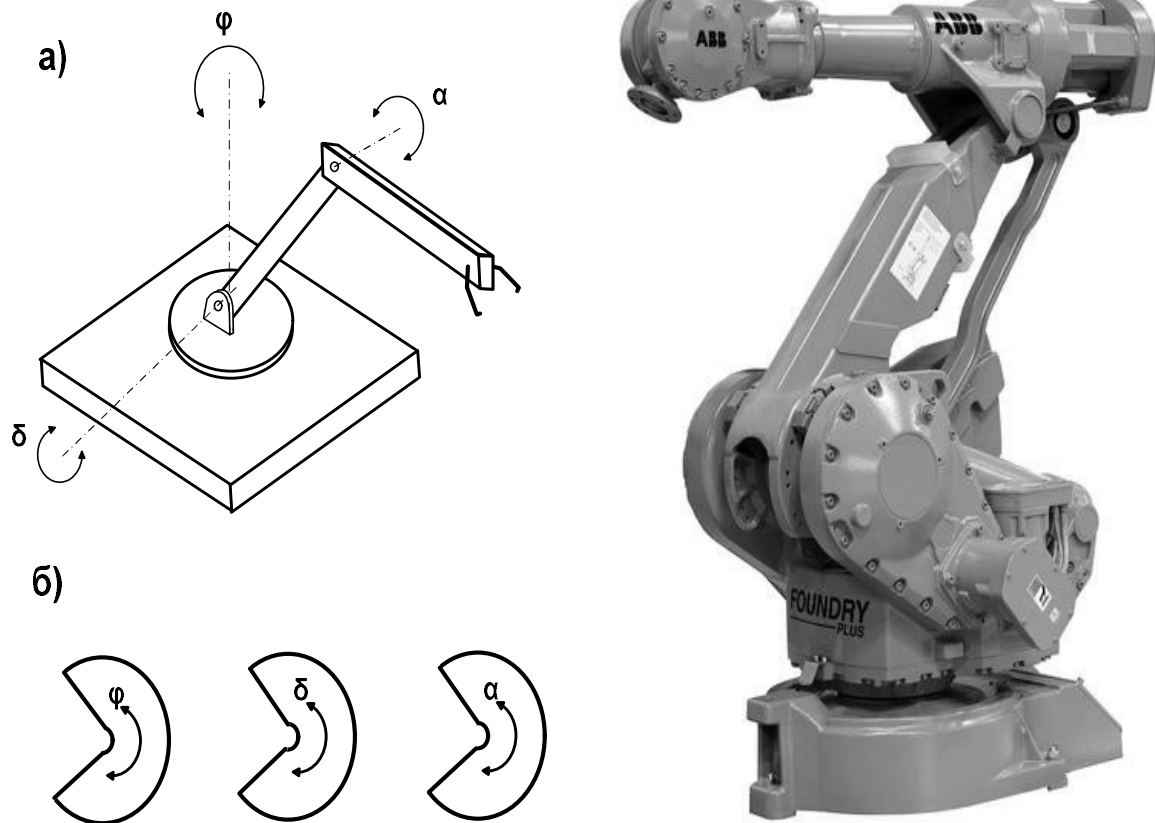
ма шара. Роботы с такой системой координат, как правило, сложнее, чем с цилиндрической системой, однако компактнее.



*Рис. 2.6. Манипулятор со сферической системой координат*

Приведенный на рис. 2.7 манипулятор с угловой (ангулярной) системой координат производит только угловые перемещения, т. е. все его звенья представляют собой шарниры. (В связи с этим часто такие манипуляторы называют еще шарнирными и антропоморфными.) Ро-

боты с манипуляторами такого типа благодаря их возможности «складываться», практически не выступая за габарит основания, обладают наибольшей компактностью, хотя и наиболее сложны в управлении.



*Рис. 2.7. Манипулятор с угловой системой координат*

Представленные выше манипуляторы имеют всего по три переносных степени подвижности. Однако поскольку манипуляторы реальных роботов в большинстве случаев содержат большее количество звеньев и, соответственно, *обладают избыточностью* по числу степеней подвижности. В них чаще всего реализуются различные комбинации рассмотренных выше основных типов систем координат с разным соотношением между числом степеней подвижности.

### 2.3. Рабочие органы манипуляторов

Рабочие органы манипуляторов [11] служат для непосредственного взаимодействия с объектами внешней среды и делятся на захватные устройства и специальный инструмент. И те, и другие рабочие органы могут быть снабжены средствами очувствления (сенсорными устройствами).

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

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

Схваты роботов классифицируют по кинематике захвата объекта, типу пальцев и приводу, характеру контакта с поверхностью, по числу пальцев и др.

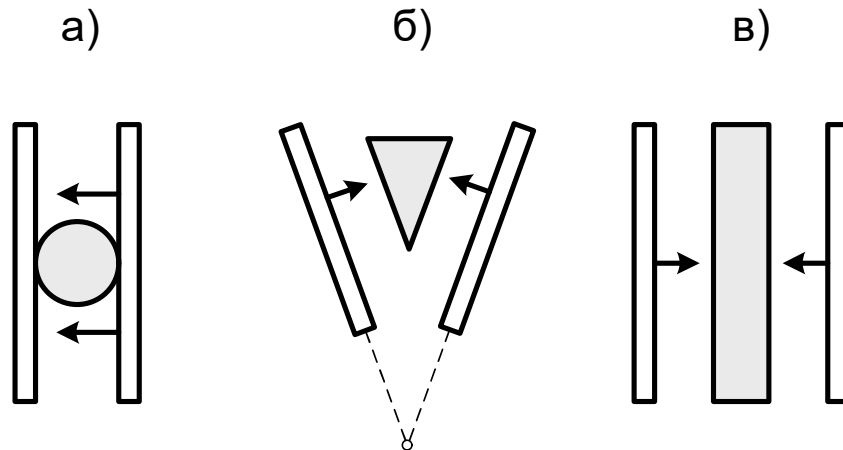
Кинематика захвата предмета схватом во многом определяется его формой. Многообразие предметов рождает большое число различных конструктивных решений захватных устройств. В простейшем случае, объекты манипулирования можно разделить на плоские (листовое стекло, шайбы), тела вращения (валы, фланцы, цилиндры, бутылки, конусы), формы параллелепипеда (коробки, контейнеры, теле-

визоры), сложной конфигурации (телевизионные трубки, лобовые и задние стекла автомобиля, штампованные детали) и изменяемой формы (ткани, шланги, провода, резиновые прокладки).

При всем многообразии объектов манипулирования простейший *двухпальцевый схват* удерживает почти 50 % из них, *трехпальцевый* — 90%, *четырепальцевый* — 99 %. Процесс сборки во многих отраслях промышленности характеризуется тем, что форму цилиндрического тела вращения и прямоугольного параллелепипеда имеет большинство деталей. Первые составляют примерно 60%, а вторые — 30 %. Конструкцию схвата определяют и размеры деталей. Так, если вписать деталь в некоторую окружность, то для работы с предметами, отличающимися диаметрами не более чем на 30 %, целесообразно применять двухпальцевые схваты клещевого типа с угловым перемещением пальцев друг относительно друга. Если же диаметры деталей превышают эту цифру, но не более чем в два раза, желательно выбирать также двухпальцевый схват, однако уже с поступательным перемещением пальцев. При значительном отличии диаметров описанных окружностей используются трех- или четырехпальцевые схваты.

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

В *схватах двухстороннего действия* имеется два жестких прижима. Захват поверхностей объекта манипулирования в этом случае может проходить в двух точках (рис. 2.8, а), по двум линиям (рис. 2.8, б), по двум поверхностям (рис. 2.8, в). Выбор характера сближения пальцев с объектом, кроме того, зависит от состояния поверхности, прочности шероховатости предмета. Для надежного удержания предмета, которое происходит за счет сил сухого трения, в большинстве случаев достаточно обеспечение двухстороннего контакта.



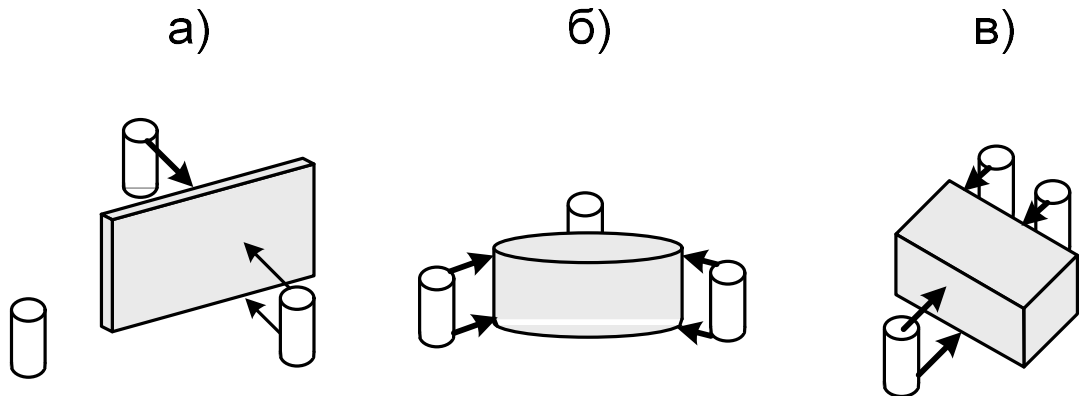
*Рис 2.8. Схемы схватов двухстороннего действия*



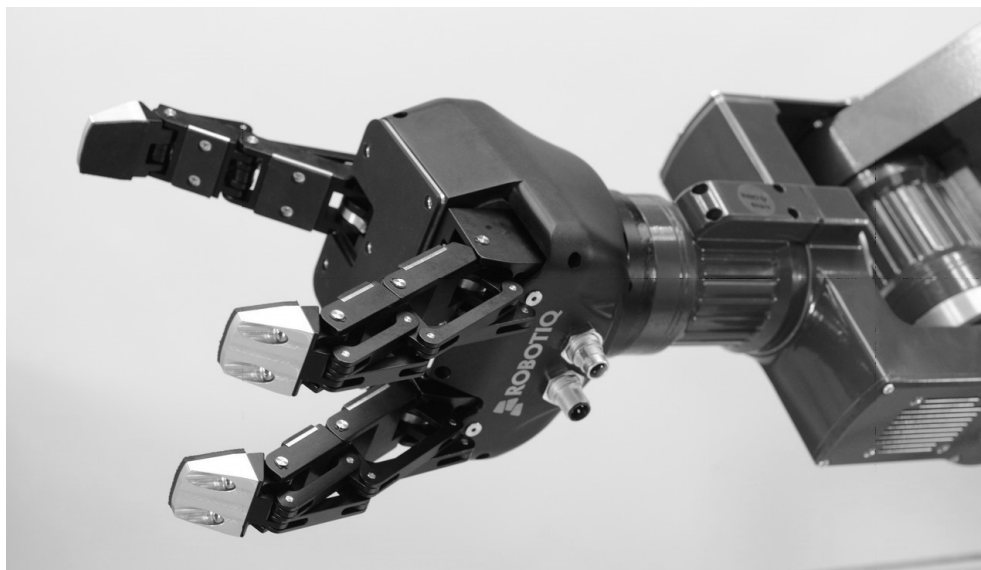
*Рис 2.9. Схват двухстороннего действия (в – типа)  
с пневматическим приводом*

Схваты трехстороннего действия (рис. 2.10) придают системе большую универсальность, однако при этом существенно усложняется их конструкция, увеличивается масса пальцев и приводов, осуществляется обхват объекта со всех сторон, растет надежность удержания предмета за счет увеличения числа точек контакта и сил трения. Схват может иметь трубчатые пальцы, которые размещаются под определенным углом друг относительно друга и перемещаются в радиальном направлении. Последнее позволяет захватывать цилиндри-

ческие тела не только с наружной, но и с внутренней стороны. При переносе прямоугольных деталей с гранями два пальца схвата должны прилегать к одной, а третий - к противоположной грани детали.



*Рис.2.10. Схемы схватов трехстороннего действия*

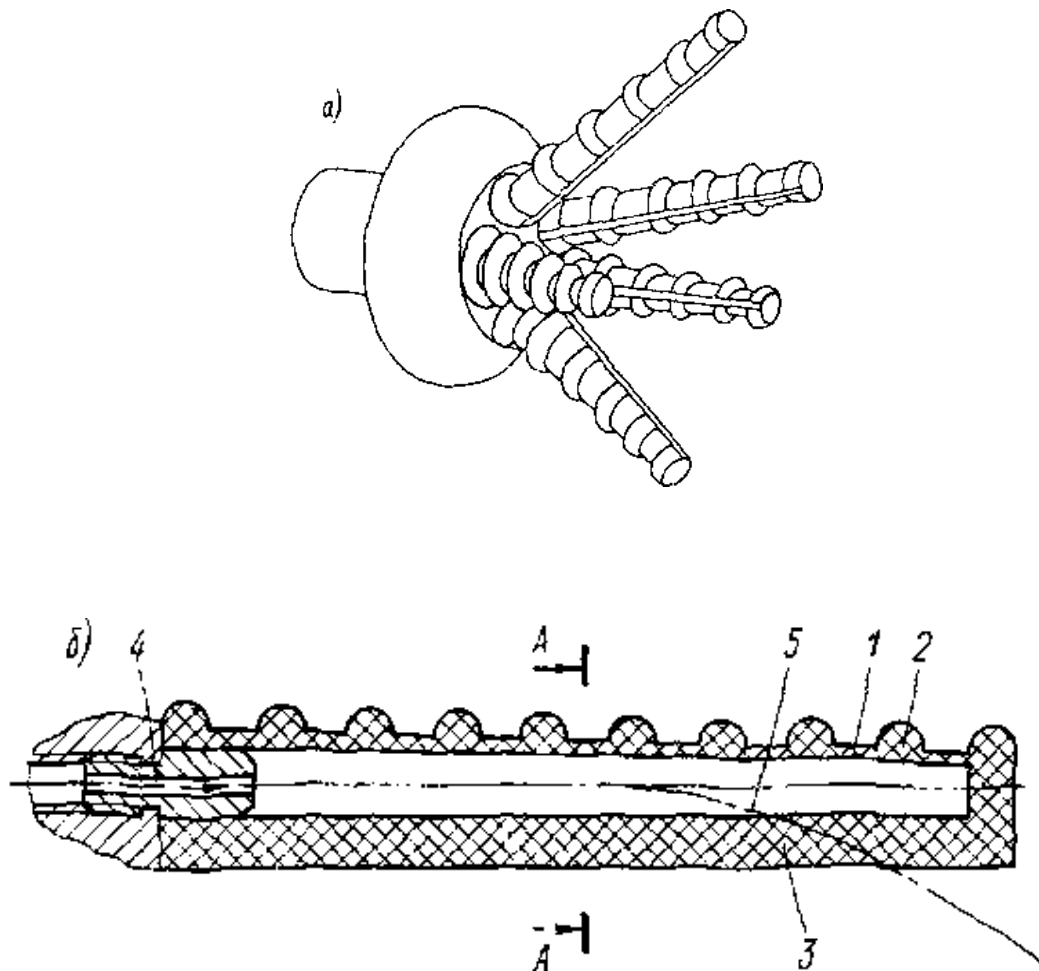


*Рис.2.11. Универсальный схват трехстороннего действия*

В связи с простотой совершаемых схватами движений («зажим — разжим») в них широко используются нерегулируемые пневматические и электрические приводы, значительно реже — гидравлические.

На рис. 2.12 показано устройство пневматического схвата с пятью гибкими надувными пальцами. За счет разной жесткости

пальцев по сечению при подаче в них сжатого воздуха они изгибаются, захватывая находящиеся в их зоне предметы.



*Рис. 2.12. Пневматический схват с пятью гибкими надувными пальцами: а — внешний вид; б — разрезы пальца; 1- тонкостенная часть; 2- гофры; 3 - толстостенная часть; 4 - подвод воздуха; 5 - деформация оси пальца при подаче сжатого воздуха*

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

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

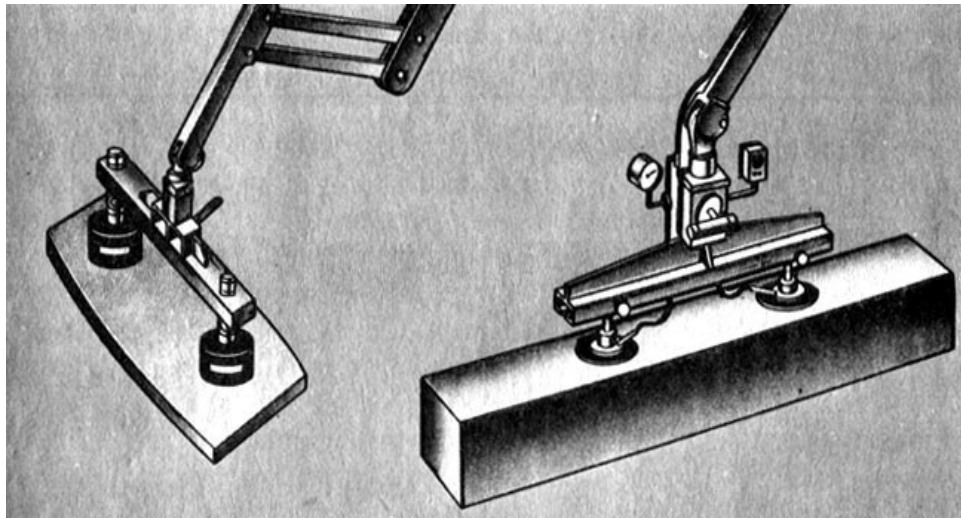


*Рис.2.13. Электромагнитный схват грузоподъемностью 200 тонн*

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

*Вакуумные захватные устройства* надежно удерживают детали с гладкими, ровными поверхностями массой до 20 кг. Это происходит за счет разряжения воздуха, создаваемого между поверхностью предмета и вакуумным присосом. Схваты имеют большую площадь контакта с предметом и требуют симметричного расположения центра тяжести у объекта манипулирования. Однако они относительно недолговечны, потребляют значительное количество сжатого воздуха,

между присосом и поверхностью детали не должно быть частиц масла и пыли, для создания разряжения между присосом и предметом необходимо время. Последнее обстоятельство уменьшает быстродействие всего робототехнического комплекса. Несмотря на указанные недостатки, нежесткость схвата позволяет использовать его для манипулирования хрупкими предметами (например, колбами, электронно-лучевыми трубками и др.).



*Рис.2.14. Магнитный (слева) и вакуумный (справа) схваты*

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

Классификация захватных устройств, оснащенных схватами, представлена на рис. 2.15.

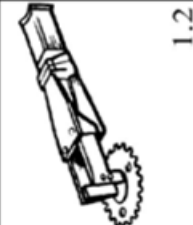
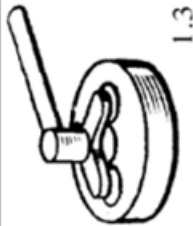
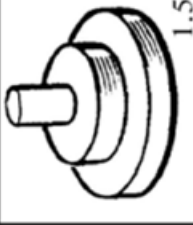
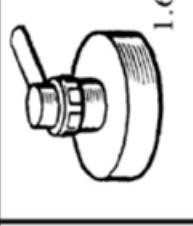
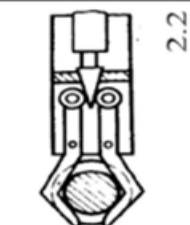
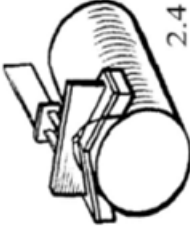
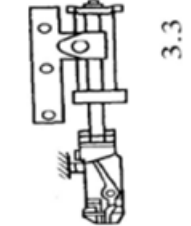
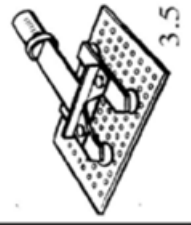
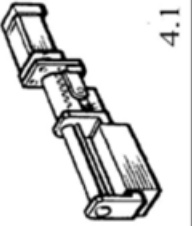
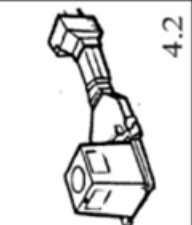
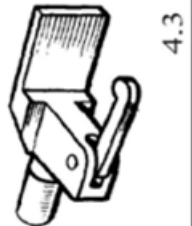
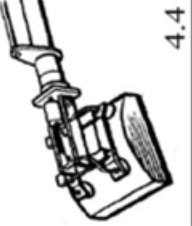
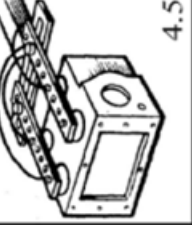
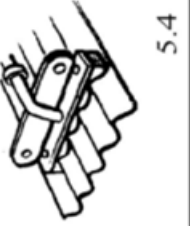
| ДЕТАЛИ               | МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА                                                                    |                                                                                              |                                                                                              |                                                                                             | ВАКУУМНЫЕ И МАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА                                                           |                                                                                            | УСТРОЙСТВА С ЭЛАСТИЧНЫМИ КАМЕРАМИ                                                          |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | ЦЕНТРИРУЮЩИЕ                                                                               |                                                                                              | БАЗИРУЮЩИЕ                                                                                   | центрирующие                                                                                | базирующие                                                                                 |                                                                                            |                                                                                            |
|                      | широко диапазонные                                                                         | узко диапазонные                                                                             |                                                                                              |                                                                                             |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |
|                      |                                                                                            |                                                                                              |                                                                                              |                                                                                             |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |
| ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ ФЛАНЦЫ | <br>1.1 | <br>1.2   | <br>1.3    | <br>1.5    | <br>1.6   |                                                                                            |                                                                                            |
|                      | ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ ВАЛЫ                                                                         | <br>2.1   | <br>2.2   |                                                                                             | <br>2.4   |                                                                                            | <br>2.6   |
| ПЛОСКИЕ ДЕТАЛИ       |                                                                                            |                                                                                              | <br>3.2   | <br>3.3   |                                                                                            | <br>3.5   |                                                                                            |
|                      | ДЕТАЛИ КОРОБЧАТОЙ ФОРМЫ                                                                    | <br>4.1 | <br>4.2 | <br>4.3 | <br>4.4 | <br>4.5 |                                                                                            |
| ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ |                                                                                            |                                                                                              |                                                                                              | <br>5.3 | <br>5.4 | <br>5.5 | <br>5.6 |

Рис. 2,15. Примеры конструкций захватных устройств, оснащенных схватами

**Рабочий инструмент.** В тех случаях, когда объектом манипулирования является рабочий инструмент, с помощью которого робот выполняет соответствующие технологические операции (нанесение покрытий, сварку, завинчивание болтов или гаек, зачистку поверхностей и т. д.), этот инструмент, как правило, не берется захватным устройством, а непосредственно крепится к манипулятору вместо него. Часто при этом к инструменту необходимо обеспечить подвод энергии или какого-либо рабочего тела. Для окрасочного робота — краску и воздух к пульверизатору. Для сварочного робота — сварочного тока к сварочным клещам при точечной сварке или проволочного электрода, газа и охлаждающей воды при дуговой сварке и т. д. Для этого требуется разработка специальной конструкции всего манипулятора.

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

## 2.4. Устройства передвижения роботов

Устройства передвижения роботов относят к их исполнительным устройствам. В роботах *на сегодня применяют* практически все известные на транспорте и в других областях техники способы передвижения. Кроме того, предметом самой робототехники являются шагающие (стопоходящие) транспортные средства, которые образуют ее отдельный раздел.

В соответствии с назначением робота и с общей классификацией транспортных средств по областям применения устройства передвижения роботов делятся на наземные, подземные, плавающие, подводные, воздушные, космические.

Наземные устройства передвижения состоят из ходовой части и ее приводов. По принципу действия ходовой части эти устройства классифицируют: на колесные, гусеничные, на элек-

тромагнитной подвеске, на воздушной подушке, шагающие, ползающие и т. д.

На рис. 2.16 показан специализированный робот СТР-1 на колесном ходу, принимавший участие в ликвидации аварии на ЧАЭС. Специализированный транспортный робот (СТР-1) это легендарный и общеизвестный аппарат, принимавший активное участие в очистке крыши ЧАЭС от завалов высокорadioактивных элементов разрушенного реактора. Робот эксплуатировался при уровнях гамма-фона до 3000 Рентген в час. В некоторых местах (у основания вентиляционной трубы №2) уровни излучения доходили до 10000 Рентген в час. С его помощью удалось уберечь от облучения около 1000 человек, которые надо было бы использовать для выполнения этой работы.



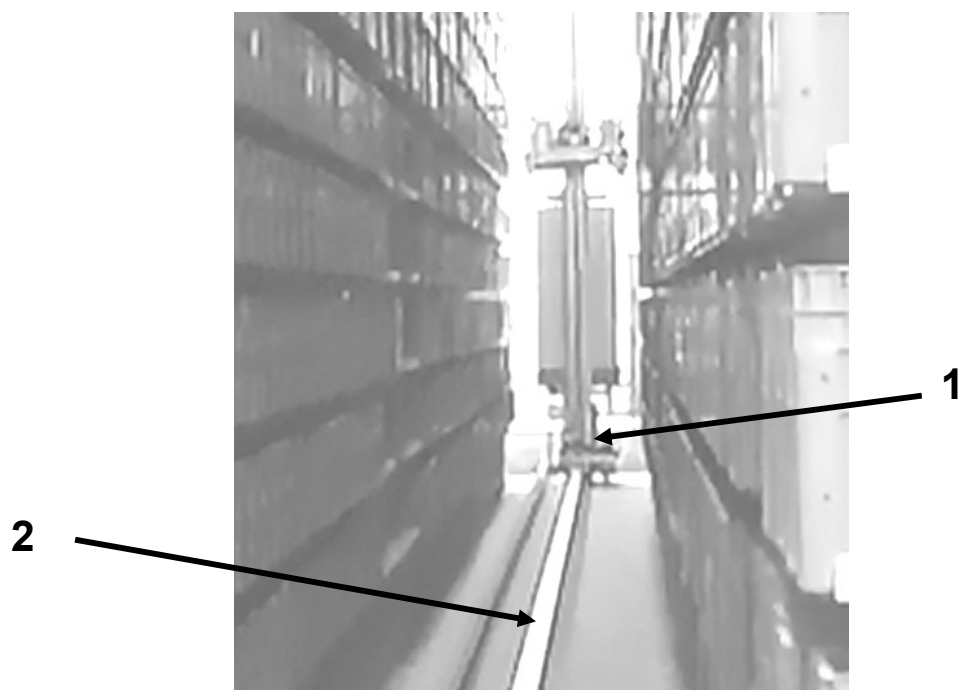
*Рис.2.16. Специализированный транспортный робот СТР-1 на колесном ходу*

На рис. 2.17 показан вариант транспортного промышленного робота подвешенного типа ТРТ-1—250, который передвигается по монорельсовому пути. Робот имеет манипулятор грузоподъемностью 250 кг, захватные устройства которого закрыты снизу защитной сеткой, предохраняющей от самопроизвольного выпадения переносимого груза. Позиционирование робота на трассе осуществляется с помощью индукционных датчиков.



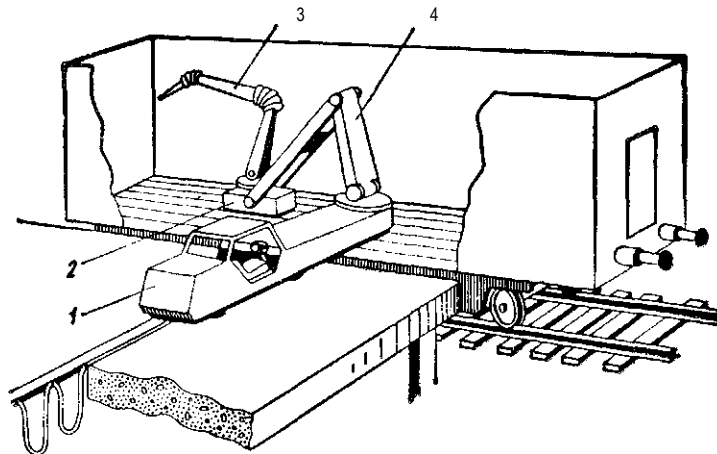
*Рис.2.17. Транспортный промышленный робот ТРТ1-250.  
1 – тележка, 2 – монорельс.*

На рис. 2.18 показан вариант транспортного промышленного робота напольного типа, применяемого на автоматизированных складах.



*Рис.2.18. Транспортный промышленный робот напольного типа. 1 – тележка, 2 – монорельс.*

На рис.2.19 изображен гидравлический робот с контурным управлением, снабженный сменными рабочими органами, размещен на подвижном основании. Основание перемещается оператором внутри вагона с помощью пантографической стрелы по мере обработки очередной части вагона в пределах рабочей зоны робота.



*Рис. 2.19. Робототехнический комплекс для химической обработки железнодорожных вагонов:*

*1- тележка с оператором; 2 - подвижное основание; 3 — промышленный робот; 4 — пантографическая стрела*

### **3. ПРИВОДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ**

#### **3.1. Классификация приводов промышленных роботов**

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

У человека функции исполнительных органов возлагаются на мышцы, которые состоят из пучков сокращающихся волокон. Среднее время сокращения одного волокна сто миллисекунд, а создаваемое усилие может достигать двухсот граммов. Усиление, создаваемое всей мышцей, определяется числом задействованных волокон, а плавность движений обеспечивается их последовательным подклю-

чением. В целом мышца представляет своеобразный биологический двигатель, включающий несколько тысяч более простых двигателей импульсного типа. Все они объединяются в пучки, а затем — в двигательные единицы. Мышцы крепятся к костям при помощи сухожилий по балансной схеме, образуя пары, действующие в противоположных направлениях. Такое построение объясняется принципом действия мышцы, которая по сигналу мотонейрона может создавать усилие только в одном направлении, развивая среднюю мощность 20 Вт. Мышцы обеспечивают руке человека чрезвычайно широкий диапазон линейных скоростей перемещения: от 0,001 (при тонкой сборке и регулировке) до 8 м/с (при движении кисти во время метания). В большинстве современных производственных процессов, выполняемых человеком вручную, диапазон требуемых скоростей гораздо ниже и сосредоточен в интервале от 0,05 до 0,8 м/с.

Работа исполнительных приводов в составе манипуляционных роботов по сравнению с другими устройствами имеет ряд особенностей:

1. Момент инерции и величина нагрузки, прикладываемой к валу или штоку двигателей, взаимосвязаны с изменяющейся в процессе работы конфигурацией манипулятора.

2. Частые остановки создают неравномерный характер работы, и следовательно, необходимость смены режимов пуска и торможения. При этом должны выполняться требования, предъявляемые к быстродействию и точности работы манипулятора.

3. Конструкция манипулятора часто предполагает пространственное разнесение исполнительного двигателя и звена манипулятора, а также удаленность двигателя от управляющего устройства на значительные расстояния. Кроме этого, отработка перемещения звеньев должна иметь не колебательный характер, исключающий удары манипулятора по обслуживаемому оборудованию. Особенности работы исполнительных двигателей роботов связаны и с ограничениями, налагаемыми требованиями безопасности труда. При аварийной остановке манипулятор должен отключиться, а механическая рука — зафиксироваться в неподвижном состоянии.

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

К приводам, применяемым в роботах, предъявляют весьма жесткие специфические требования. В связи с необходимостью их встраивания в подвижные части робота — в манипуляторы и устройства передвижения — габариты и масса приводов должны быть минимальными. Приводы в роботах работают в основном в неустановившемся режиме и с резко переменной нагрузкой. При этом переходные процессы в них должны быть практически не колебательными. Важными параметрами приводов роботов являются также надежность, стоимость, удобство эксплуатации. Требования, предъявляемые к их способу управления, быстродействию и точности, непосредственно определяются соответствующими требованиями к роботу в целом. В частности, обычно требуется, чтобы скорость поступательного движения приводов роботов на выходе составляла 0,5—1,5 м/с при погрешности отработки перемещения в долях миллиметра.

В роботах нашли применение практически все известные типы приводов: электрические, гидравлические и пневматические; с поступательным и вращательным движением; регулируемые (по положению, скорости и т. д.) и нерегулируемые; замкнутые (с обратной связью) и разомкнутые; непрерывного и дискретного действия (в том числе шаговые). Около 40 % роботов в мире выполнены на пневматических приводах, примерно столько же — на гидравлических, а остальные 20 % — на электрических, причем доля последних неуклонно растет. Широкое распространение пневматических приводов в робототехнике объясняется их простотой, дешевизной и надежностью. Правда, эти приводы плохо управляемы и поэтому используются в основном как нерегулируемые с цикловым управлением. Кроме того, пнев-

матические приводы применяют только для роботов небольшой грузоподъемности—до 10, реже 20 кг.

Однако в связи с тем, что развитие робототехники, естественно, началось с освоения наиболее простых и легких роботов, пневматические приводы сразу же получили в них широкое распространение. А так как в промышленности, где используется основная часть парка роботов, такие простые и дешевые роботы оказались очень эффективны и требуются все в большем количестве, доля пневматических роботов в общем парке роботов продолжает сохраняться на указанном выше уровне, несмотря на появление и быстрое развитие более совершенных роботов других типов.

Гидравлические приводы наиболее сложны и дорогостоящи по сравнению с пневматическими и электрическими. Однако при мощности 500—1000 Вт и выше они обладают наилучшими массогабаритными характеристиками и поэтому являются основным типом привода для тяжелых и сверхтяжелых роботов. Гидравлические приводы хорошо управляются как в позиционном, так и в контурном режиме. Благодаря последнему обстоятельству гидравлический привод нашел применение и в роботах средней грузоподъемности, когда требуются высокие динамические характеристики.

Сравнительно скромные позиции, которые занимает на сегодня в робототехнике электрический привод, несмотря на его хорошую управляемость, простоту подвода энергии, значительно больший КПД и удобство эксплуатации, объясняются тем, что он имеет худшие массогабаритные характеристики, чем пневматический и гидравлический приводы. Увеличение в последние годы доли электромеханических роботов в общем парке роботов в мире продиктовано именно быстрым прогрессом в развитии новых типов электрических двигателей, специально предназначенных для роботов и позволяющих создавать для них все более компактные комплектные приводы всех требуемых типов.

Основная область применения электрических приводов в робототехнике на сегодняшний день — это роботы средней грузоподъем-

ности (десятки килограмм), легкие роботы с позиционным и контурным управлением и тяжелые, прежде всего подвижные роботы, с цикловым и простым позиционным управлением, когда они оказываются выгоднее гидравлических.

Для иллюстрации сказанного на рис. 3.1 и 3.2 приведены обобщенные сравнительные характеристики различных типов приводов роботов по удельной мощности и стоимости. При расчете удельной мощности пневмоприводов учитывалась масса аппаратуры подготовки воздуха, а гидроприводов — масса гидростанции, которые входят в конструкцию роботов.

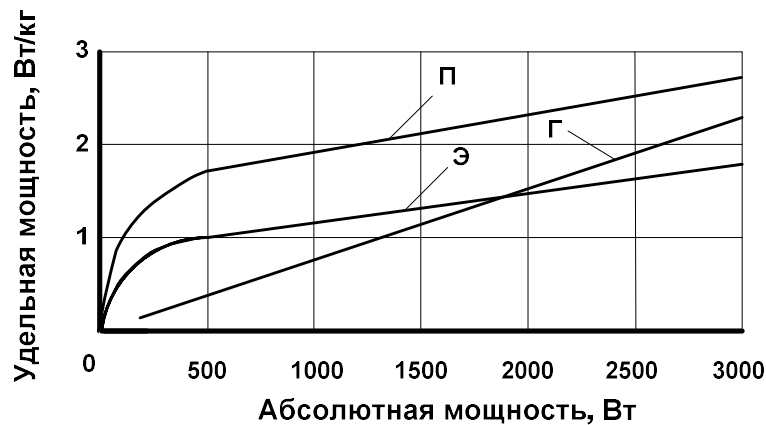


Рис.3.1. Удельная мощность электрических Э, гидравлических Г и пневматических П приводов в зависимости от их абсолютной мощности

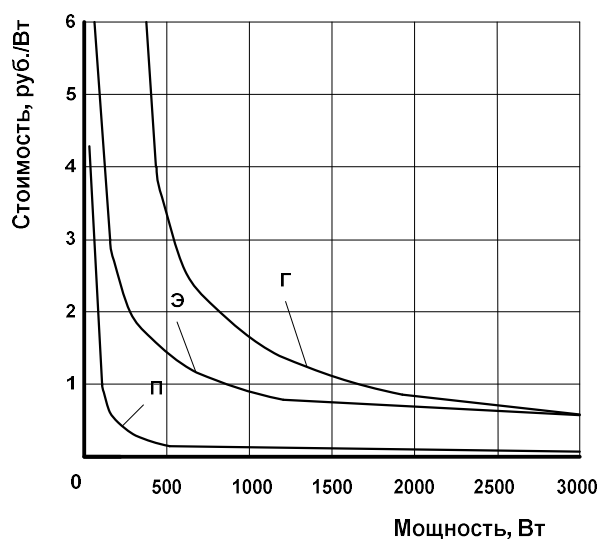


Рис.3.2. Стоимость электрических Э, гидравлических Г и пневматических П приводов в зависимости от их мощности

### 3.2. Пневматические приводы

Пневмопривод [1] одной степени подвижности содержит двигатель, распределительное устройство и регулятор скорости.

Двигатель может быть поступательного движения — пневмоцилиндр и поворотный. Пневмоцилиндр состоит из гильзы, выполненной из прецизионной трубы обычно с фторопластовой накладкой внутри, поршня с резиновым уплотнением, которое имеет малое трение по фторопласту, и штока. В пневмоцилиндры обычно встроен также тормоз, включающийся в конце хода поршня.

Поршень со штоком, который присоединен к нагрузке двигателя, движется под действием сжатого воздуха, подаваемого в полость цилиндра с одной стороны поршня. Полость, расположенная с другой стороны поршня, соединяется с атмосферой для выпуска воздуха, сжимаемого движущимся поршнем. Направление движения поршня со штоком зависит от того, с какой стороны от поршня подается сжатый воздух.

Поворотные пневматические двигатели, применяемые в роботах, имеют ограниченный угол поворота (неполноповоротные двигатели). Их подвижная часть представляет собой лопасть, укрепленную на выходном валу и расположенную в кольцеобразном корпусе. Внутри корпуса имеется перегородка, с двух сторон которой получают полости для воздуха, разделенные подвижной лопастью.

Существуют также поворотные пневматические двигатели, состоящие из пневмоцилиндров и механической передачи типа рейка-шестерня, которая преобразует поступательное движение рейки в поворот шестерни. Пневматические двигатели работают на сжатом воздухе давлением 0,3—0,6 МПа.

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

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

Сжатый воздух поступает на приводы робота от общего блока питания, который состоит из аппаратуры подготовки воздуха и редуктора. Подготовка воздуха заключается в его очистке от влаги и механических примесей и внесении распыленного масла для смазки трущихся поверхностей в приводе. Редуктор обеспечивает поддержание определенного давления воздуха на входе привода.

Сжатый воздух на вход блока питания поступает из общей пневмосети, сформированной на основе компрессора (компрессорной станции).

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

Программирование перемещения осуществляется перестановкой упора.

Благодаря тому, что конечное положение двигателя определяется механическим упором, приводы с цикловым управлением имеют значительно более высокую точность, чем при обычном позиционном управлении (погрешность 0,1 мм и менее), повышенное быстродействие (скорость перемещения до нескольких метров в секунду).

Разработаны конструкции пневмоприводов с несколькими выдвижными упорами, которые последовательно по программе выставляются на пути упора, укрепленного на подвижной части двигателя. В результате осуществляются торможение и позиционирование привода в промежуточных точках, определяемых положением этих выдвижных упоров. Такой способ позиционирования может быть реализован, например, с помощью размещенного вдоль пневмоцилиндра барабана с упорами. Упоры расположены по длине барабана со смещением относительно друг друга по углу в плоскости, перпендикулярной к оси барабана, как бы по винтовой траектории. В результате при повороте барабана на пути упора, перемещающегося со штоком двигателя, последовательно оказываются упоры барабана от первого до последнего. Движение барабана, естественно, должно быть строго синхронизировано с движением штока двигателя.

Существуют также конструкции подобных приводов с выдвижными упорами, снабженными индивидуальными приводами. Позиционирование пневмоприводов в промежуточных точках может осуществляться помимо выдвижных упоров с помощью обычного позиционного управления двигателем с применением обратной связи по положению. Однако точность при этом существенно ниже, чем в точках, фиксируемых упорами.

Минимальная дискретность точек позиционирования пневмоприводов и, соответственно, наибольшее число таких точек на заданном пути ограничены конечным путем торможения, который при скорости около 1 м/с может достигать 100 мм.

Для повышения точности позиционирования в промежуточных точках пневмоприводы снабжают тормозом (обычно электромагнитным).

Пока в мире созданы всего несколько марок пневматических промышленных роботов с позиционным управлением.



*Рис.3.3. Манипулятор с пневматическим приводом*

### **3.3. Гидравлические приводы**

Гидроприводы [1] нашли основное применение в тяжелых и сверхтяжелых роботах, а также в роботах средней грузоподъемности, когда требуется особо качественное управление.

Гидропривод состоит из тех же основных частей, что и пневмопривод. Основой его является двигатель поступательного движения (гидроцилиндр) или углового движения (гидромотор), которые устроены подобно аналогичным пневматическим двигателям, только вместо сжатого воздуха в них используется жидкость (обычно масло) под давлением до 20 МПа. Несжимаемость жидкости, а также большее давление ее обеспечивают гидроприводу лучшие динамические, точностные и габаритные характеристики по сравнению с пневмоприводом.

Управление гидравлическими двигателями осуществляется с помощью золотников и клапанов, которые в свою очередь име-

ют обычно электрическое управление, т. е. представляют собой электрогидравлические усилители (ЭГУ).

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

Гидроприводы чаще всего выполняют с контурным и позиционным управлением. Однако для роботов большой грузоподъемности, гидроприводы которых не имеют конкуренции со стороны других типов приводов, в случае необходимости применяют гидроприводы и с простым цикловым управлением.

На рис.16.3 показан гидравлический промышленный робот «Коат-а-Матик» шведской фирмы «Ретаб», имеющий контурное управление и предназначенный для переноски изделий, нанесения покрытий, сварки, и др.



*Рис.3.4. Гидравлический промышленный робот*

Робот состоит из трех частей — манипулятора, насосной станции и устройства управления.

### Техническая характеристика робота

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| Число степеней п о д в и ж н о с т и | 6         |
| Переносные степени подвижности:      |           |
| поворот I, град                      | 135       |
| II, град                             | 90        |
| III, град                            | 90        |
| Ориентирующие степени подвижности:   |           |
| поворот IV, град                     | 210       |
| V, град                              | 210       |
| вращение VI, град                    | 359       |
| Грузоподъемность, кг                 | 15        |
| Погрешность позиционирования, м м    | 4         |
| Способ у п р а в л е н и я           | Контурный |
| Масса, кг:                           |           |
| м а н и п у л я т о р а              | 250       |
| насосной с т а н ц и и               | 175       |
| устройства у п р а в л е н и я       | 110       |

### 3.4. Электрические приводы

В промышленных роботах нашли применение электроприводы следующих типов:

- на двигателях постоянного тока с аналоговым и цифровым управлением;
- на асинхронных двигателях как нерегулируемых (с цикловым управлением), так и с частотным управлением;
- на шаговых двигателях;
- на регулируемых муфтах в сочетании с нерегулируемым асинхронным двигателем или двигателем постоянного тока;
- на электромагнитах (соленоидных и других типов).

В основном применяют электроприводы с наиболее традиционным угловым перемещением, т. е. вращающиеся [5]. Однако, в связи с необходимостью реализации поступательных перемещений в современных роботах, наряду с электроприводами, ос-

нованными на вращающихся двигателях, используют специальные линейные приводы постоянного и переменного тока.

В общем случае в состав электроприводов входят электродвигатель, снабженный датчиками обратной связи по положению и скорости, механическая передача, часто тормоз и иногда муфта (например, для защиты двигателя от перегрузки), а также устройство управления.

На рис. 3.5 показан известный электромеханический робот ИРБ-6 фирмы АСЕА (Швеция) с позиционно-контурным управлением. Он применяется как для обслуживания станков и другого технологического оборудования, так и для выполнения основных технологических операций, например сварки, окрасочных работ, переноса изделий.

Робот состоит из манипулятора и устройства управления, выполненных раздельно.



*Рис.3.5. Электромеханический робот ИРБ-6*

Все степени подвижности оснащены датчиками положения, построенными на фазоаналоговом принципе. Сигнал рассогласования по положению формируется как разность фаз между сигналом с датчика обратной связи и задающим сигналом.

## Техническая характеристика робота ИРБ-6

|                                               |                      |
|-----------------------------------------------|----------------------|
| Число степеней подвижности                    | 5                    |
| Переносные степени подвижности:               |                      |
| поворот I, ° (скорость поворота, °/с)         | 340 (95)             |
| II, ° (скорость выдвижения, м/с)              | 80 (0,75)            |
| III, ° (скорость подъема, м / с )             | 65 (1,1)             |
| Ориентирующие степени подвижности:            |                      |
| поворот IV, ° (скорость поворота, ° / с )     | 180(115)             |
| вращение V, ° (скорость вращения, <b>1с</b> ) | 360 (195)            |
| Грузоподъемность, кг                          | 6                    |
| Погрешность позиционирования, мм              | 0,2                  |
| Способ управления                             | Позиционно-контурный |
| Масса манипулятора, кг                        | 125                  |

#### 4. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ

По способу управления различают следующие системы управления роботов и соответствующие устройства управления [6]:

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

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

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

При этом в зависимости от типа, реализуемого по отдельным степеням подвижности движения, различают следующие устройства:

**контурного управления**, когда управляемое движение осуществляется по непрерывной траектории;

**позиционного управления**, когда управляемое движение производится шагами (по конечному числу точек позиционирования);

**циклового управления**, когда число таких точек по каждой степени подвижности сводится к начальной и конечной, которая при этом определяется механическим упором или концевым выключателем.

#### **4.1. Системы программного управления**

На рис. 4.1 приведена обобщенная схема системы программного управления. На пульте управления задаются режимы работы, индицируется состояние робота и его устройства управления. В запоминающем устройстве находятся рабочие программы. Блок управления положением обеспечивает отработку заданных точек и траекторий приводами робота и работающего совместно с ним другого оборудования. Блок управления переходами контролирует окончание отработки предыдущего шага программы, хранит номер обрабатываемого шага и выдает сигнал на отработку следующего шага. Временное устройство формирует необходимые по программе выдержки времени. Запоминающее устройство, блок управления переходами и временное устройство в совокупности составляют программно-временное устройство, являющееся основой устройства программного управления.

На рис. 4.1 показаны связи устройства управления с оператором, приводами звеньев манипуляторов и устройства передвижения робота с возможным внешним оборудованием, а также внутренние связи между отдельными блоками устройства.

Робот имеет два основных режима функционирования: режим *программирования* и режим *воспроизведения* программы.

Для рассматриваемого типа робота, работающего по жесткой программе, оператор является единственным источником внешней информации о требуемых действиях, которая вводится в виде программы в запоминающее устройство и которую робот

должен затем отрабатывать в автоматическом режиме, уже не получая никакой другой информации извне. В связи с этим перед началом программирования оператор определяет порядок всех действий робота, составляет программу функционирования и вводит ее в память устройства управления.

Возможны следующие методы составления и ввода программы (применительно к управлению манипулятором робота):

1. Аналитическое программирование путем расчета программы и последующего ввода ее в запоминающее устройство (последовательность прохождения информации в этом случае такая: оператор — пульт управления — запоминающее устройство);

2. Программирование методом обучения с одновременным вводом программы путем однократного (образцового) выполнения операции в режиме ручного управления роботом с помощью пульта. Последовательность ручного управления: оператор — пульт управления — блок управления положением — манипулятор. Последовательность ввода программы: чувствительные устройства манипулятора — запоминающее устройство. Путь прохождения команды на ввод информации: пульт управления — блок управления переходами — запоминающее устройство;

3. Программирование методом обучения, но путем механического перемещения манипулятора рукой человека-оператора; ввод программы осуществляется так же, как и в предыдущем случае.

Для программирования последним методом требуется специальная конструкция манипулятора с уравниванием его масс и с обеспечением возможности отключения приводов, чтобы они не препятствовали перемещению манипулятора непосредственно рукой оператора.

Очевидным достоинством программирования методом обучения является его простота, а недостаток связан с тем, что для составления программы используется сам робот и, следовательно-

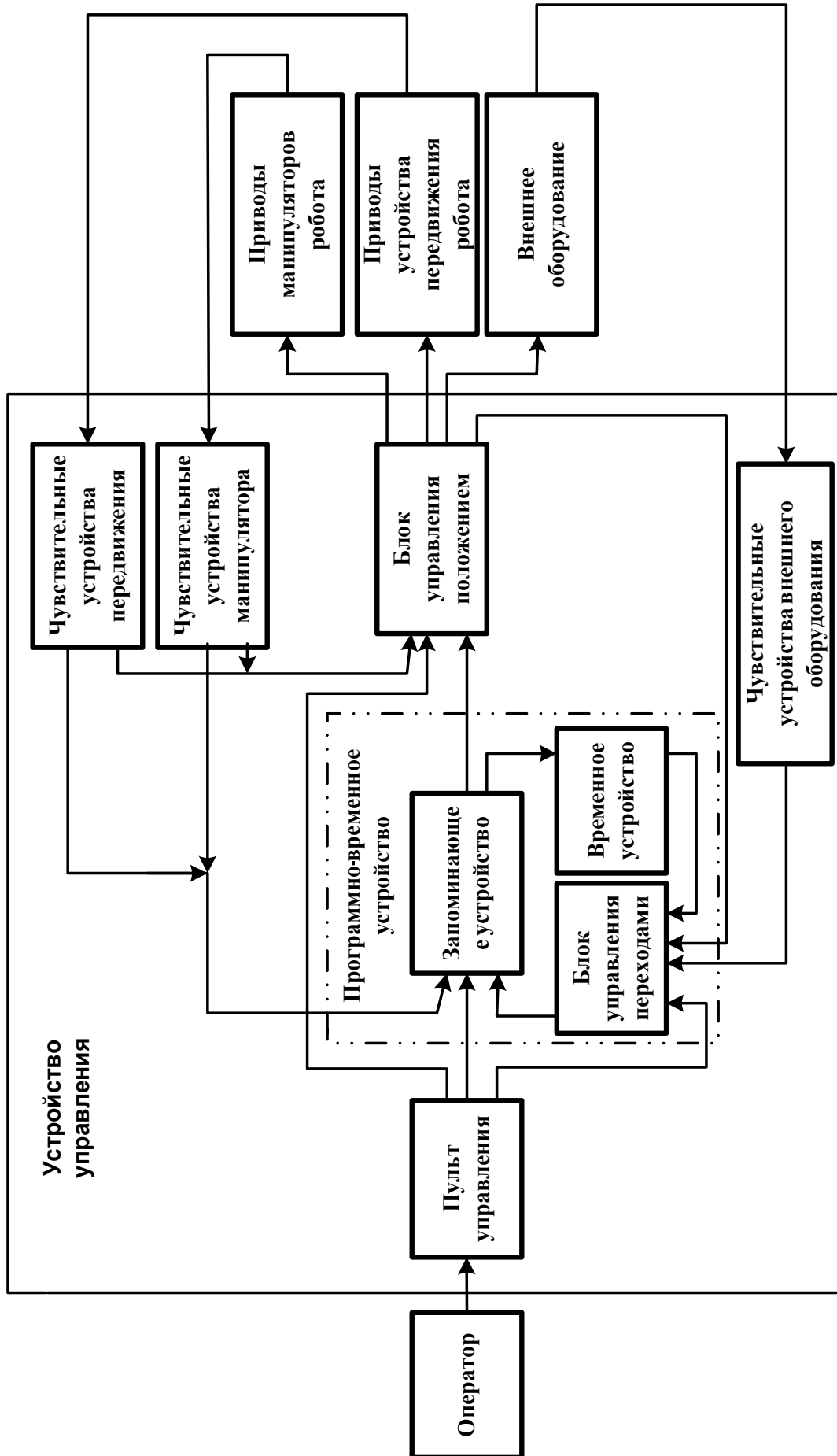


Рис.4.1. Обобщенная схема системы программного управления

но, на это время он выключается из производственного процесса. Кроме того, этот метод не универсален и поэтому не всегда применим. Например, он не пригоден для программирования сборочных и других операций, выполняемых одновременно несколькими манипуляторами.

В режиме воспроизведения, т. е. автоматической работы по программе, сигналы с выхода устройства управления поступают на приводы манипуляторов, устройства передвижения робота и внешнего оборудования, которые под воздействием этих сигналов совершают заданные программой движения.

Очевидно, что программная информация должна включать три вида информации: *информацию о положении*, т. е. о требуемых позициях для каждой степени подвижности; *информацию о последовательности* этих позиций, которая связывает их в общем движении манипулятора; *информацию о времени*, которая определяет темп движения манипулятора во времени. Соответственно с этим программная информация организована в определенную структуру, содержащую блоки информации о положении, командах перехода и времени.

Простейшей единицей программной информации является число (*команда*), представленное в дискретной или аналоговой форме и соответствующее единичной операции, выполняемой роботом (перемещение одного звена манипулятора, открывание-закрывание его захватного устройства, выдержка времени, выдача внешней команды). В зависимости от характера единичной операции ей соответствует число, содержащее от одного бита информации (операции типа «Включить—Выключить») до 13—14 бит для операции точного перемещения звена манипулятора.

Группе единичных операций, имеющих законченный смысл (например, перемещение рабочего органа манипулятора в определенную точку в результате одновременной работы его звеньев), соответствует группа чисел, объединенная общими условиями воспроизведения, — *кадр*. Кадры могут объединяться в под-

программы, соответствующие законченной небольшой последовательности действий робота.

Порядок выдачи на отработку чисел, кадров и подпрограмм при воспроизведении программы определяется заложенным в устройство управления принципом воспроизведения: а) по жесткой последовательности; б) с возможностью изменения последовательности воспроизведения по каким-то внутренним или внешним (по отношению к роботу) условиям.

Внутренние условия задаются через пульт управления или записываются в запоминающем устройстве. Управление по внутренним условиям создает дополнительные функциональные возможности (например, многократная обработка отдельных участков программы по заданному в счетчике числу, модификация отдельных команд программы по номеру обрабатываемого цикла и т. п.). Работа по внутренним условиям тоже является работой по жесткому алгоритму, так как внутренние условия, заданные оператором, не изменяются в процессе отработки. Типичным примером работы по внутренним условиям является упорядоченная раскладка предметов в тару, когда необходимо считать число уложенных предметов и от цикла к циклу изменять координаты очередной ячейки тары.

Информация о внешних условиях поступает в устройство управления робота в виде сигналов о ходе протекания какого-либо внешнего процесса. Это позволяет роботу в процессе работы переходить на другую программу, обрабатывать или пропускать отдельные участки программы, изменять отдельные команды программы, переходить на работу по внутренним условиям и т. п. Это позволяет гибко реагировать на те изменения в процессе, возможность которых была заранее предусмотрена при программировании робота. Управление по небольшому числу (5-10) сигналов о внутренних и внешних условиях предусматривается почти во всех современных устройствах управления роботов общепромышленного применения. Сигналы о внутренних и внешних условиях поступают в блок управления переходами устройства

управления (рис. 4.1) и изменяют номер следующей обрабатываемой команды

Устройство блока управления переходами определяется принятым принципом выработки сигнала о конце отработки очередного кадра и готовности к отработке следующего. Существуют три следующих таких принципа: по сигналам датчиков, временной и комбинированный.

В первом случае выполнение единичных операций предыдущего шага подтверждается срабатыванием датчиков либо сигналом с блока управления положением, во втором случае сигнал о переходе к следующему шагу вырабатывается временным устройством по истечении определенного промежутка времени. В третьем случае попеременно (для различных шагов) используются оба способа.

При временном принципе выработки сигнала датчиков о переходе не требуется. Сигналы перехода программы вырабатываются или временным устройством, запускаемым в начале каждого шага, или тактирующим устройством, запускаемым в начале цикла отработки. Фактическое подтверждение отработки в этом случае отсутствует.

Обычно блок управления переходами включает счетчик шагов, коммутатор переходов в программе и схемы совпадения сигналов отработки.

Рассмотрим особенности систем программного управления роботами, реализующих разные способы управления: цикловой, позиционный и контурный.

Цикловое управление (рис.4.2) является простейшим способом программного управления, когда по каждой степени подвижности программируется, как правило, одно конечное положение. Информация об этом положении запоминается путем установки механических упоров (или флажков путевых выключателей) на звеньях манипулятора.

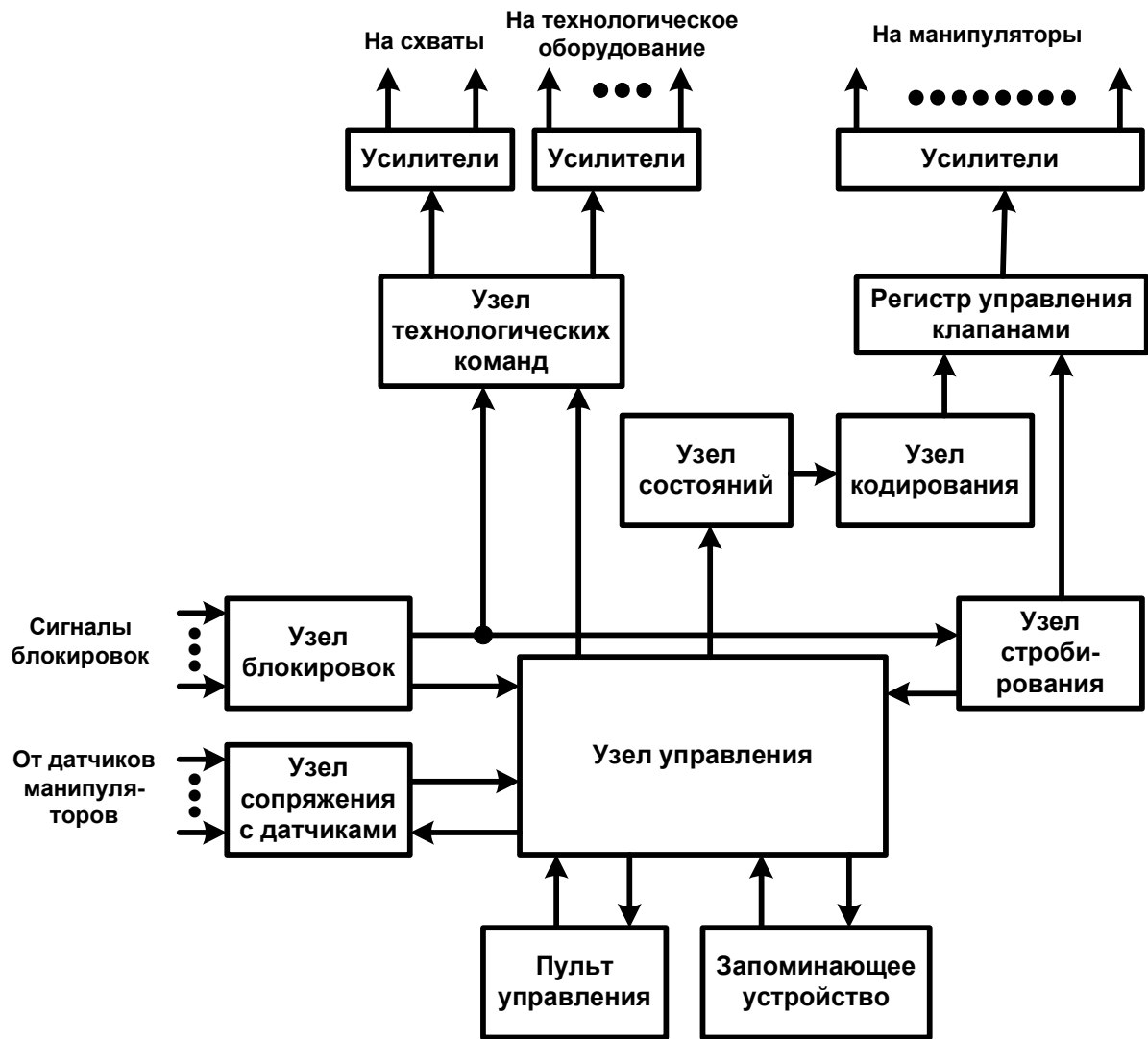


Рис.4.2. Структурная схема устройства циклового управления УЦМ-663

Серийно выпускаемое отечественной промышленностью унифицированное устройство циклового управления УЦМ-663 для промышленных роботов обеспечивает управление манипуляторами, имеющими до шести степеней подвижности с числом точек позиционирования по каждой степени до четырех. Предусмотрена возможность увеличения числа точек позиционирования по двум степеням до восьми. Общее число точек позиционирования по всем степеням подвижности — не более 24. Устройство принимает сигналы с датчиков положения (контактных или бесконтактных) в виде напряжения постоянного тока 24 В.

При необходимости осуществлять предварительное снижение скорости движения при подходе к точке позиционирования можно установить дополнительно датчик сигнала замедления скорости движения.

Устройство УЦМ-663 может выдавать команды типа «Включено-Выключено» на 12 единиц технологического оборудования. Одновременно могут выдаваться по две команды. Обработка осуществляется с подтверждением.

## 4.2. Системы позиционного и контурного программного управления

**В позиционных системах управления** (рис.4.3.) количество точек позиционирования достигает 1000— 10000.

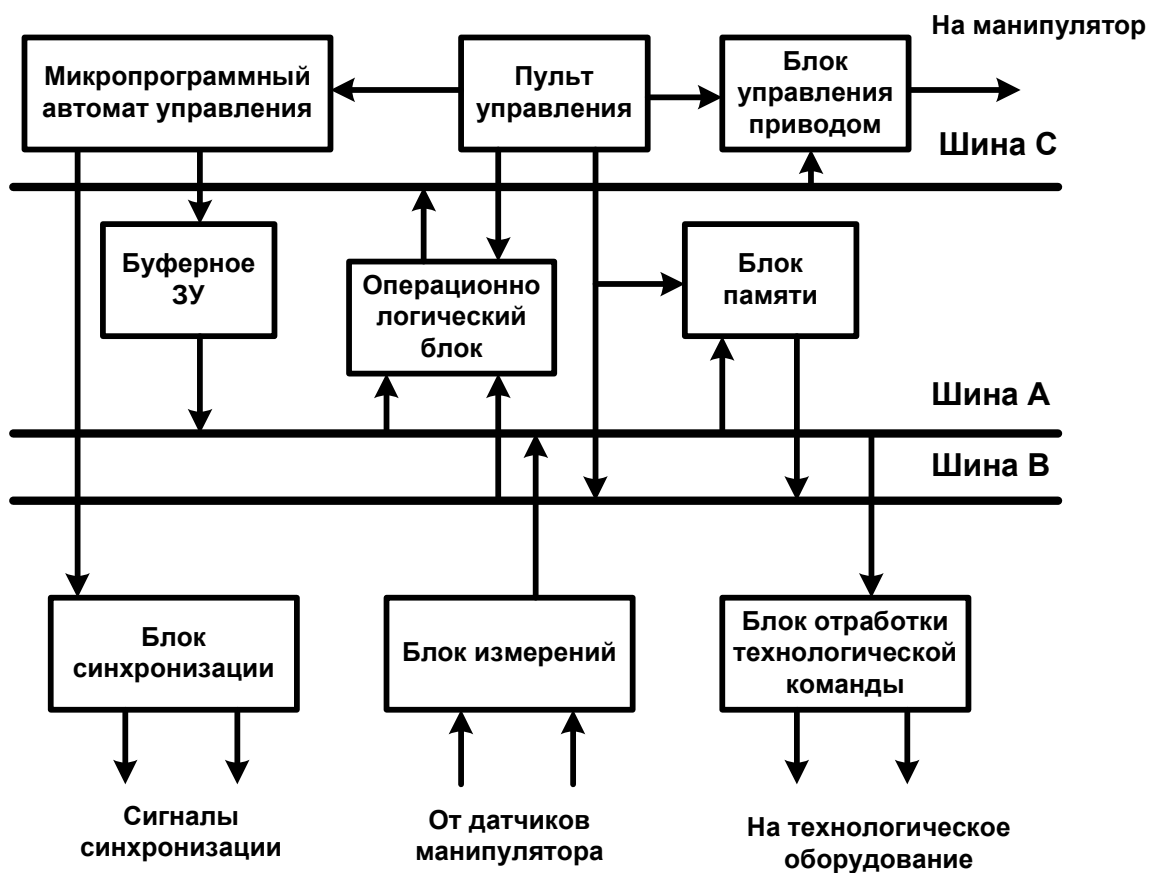


Рис. 4.3. Структурная схема устройства позиционного управления

В простейших позиционных системах с небольшим числом точек позиционирования информация о положении, последовательности и времени запоминается раздельно, как и в цикловых системах. Однако в системах с большим числом точек позиционирования все эти три вида информации объединяются и запоминаются в одном блоке.

Устройство имеет центральный вычислитель, в котором последовательно обрабатывается вся информация. Обмен информацией между блоками осуществляется через шины *A*, *B* и *C*.

Программы управления размещаются в блоке памяти на магнитной ленте, на которой максимально может содержаться до 2000 кадров программы. Буферное ЗУ полупроводникового типа обеспечивает хранение информации 32 кадров программы. Микропрограммный автомат формирует управляющие микроопераций — микрокоманд в соответствии с алгоритмом управления.

Блок управления приводами состоит из унифицированных преобразователей код—напряжение на шесть разрядов. Максимальный выходной сигнал — 10 В.

Блок измерения преобразует сигналы датчиков положения звеньев манипулятора в цифровой код и содержит до восьми одинаковых каналов измерения, имеющих общий блок питания датчиков индукционного типа. Разрядность преобразования — 15. Блок отработки технологических команд выдает на технологическое оборудование и манипулятор 15 команд с четырьмя сопроводительными признаками объектов (выход технологических команд релейный) и принимает от оборудования и манипулятора сигналы об отработке команд.

Блок синхронизации вырабатывает последовательности импульсов, синхронизирующих работу устройства, а также частоты, необходимые для работы измерительной системы и формирования выдержек времени.

Пульт управления предназначен для включения устройства, задания режимов работы, организации ручного ввода информации и цифровой индикации информации.

Устройство управления реализовано на интегральных микросхемах серии К555. Наибольшее число управляемых координат равно семи. Программирование осуществляется методом обучения. Предусмотрено программирование в кадре программы одновременно для всех координат одной из четырех фиксированных скоростей движения и одной из трех степеней точности. Выбор требуемой программы производится по сигналу от объектов или с пульта управления.

Обмен технологической информацией с манипулятором и внешним оборудованием осуществляется с помощью команд по 19 шинам (15 команд с четырьмя сопровождающими признаками объектов). Прием технологических ответных сигналов ведется по 15 шинам, прием сигналов условий выполнения программы — по 32 шинам, прием запросов выбора программы от объектов управления — по четырем шинам. Устройство обеспечивает до десяти временных выдержек на отработку технологических команд в интервале от 0 до 30 с.

Выходной сигнал на следящий привод представляет собой напряжение постоянного тока, которое изменяется от +10 до -10 В при токе нагрузки 5 мА.

Датчики обратной связи — двух отсчетные синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы (типа СКТД-6465Д).

Характеристика разгона-торможения привода ступенчатая с числом ступеней торможения не менее семи и с регулировкой ступеней.

Устройство питается от трехфазной сети переменного тока напряжением 360/220 В, потребляемая мощность — до 1,5 кВт.

Конструкция — шкафного типа, связь с манипулятором и технологическим оборудованием — через разъемы, габаритные размеры — 470х650х1700 мм, масса устройства — 500 кг.

Устройство УПМ имеет несколько модификаций, предназначенных для работы со следящим и шаговым приводами на три, пять и семь степеней подвижности.

**Системы контурного управления** (рис.4.4) обеспечивают движение **по** непрерывным траекториям. Для этого, естественно, необходимо осуществить непрерывное скоординированное управление движением **по** всем степеням подвижности.

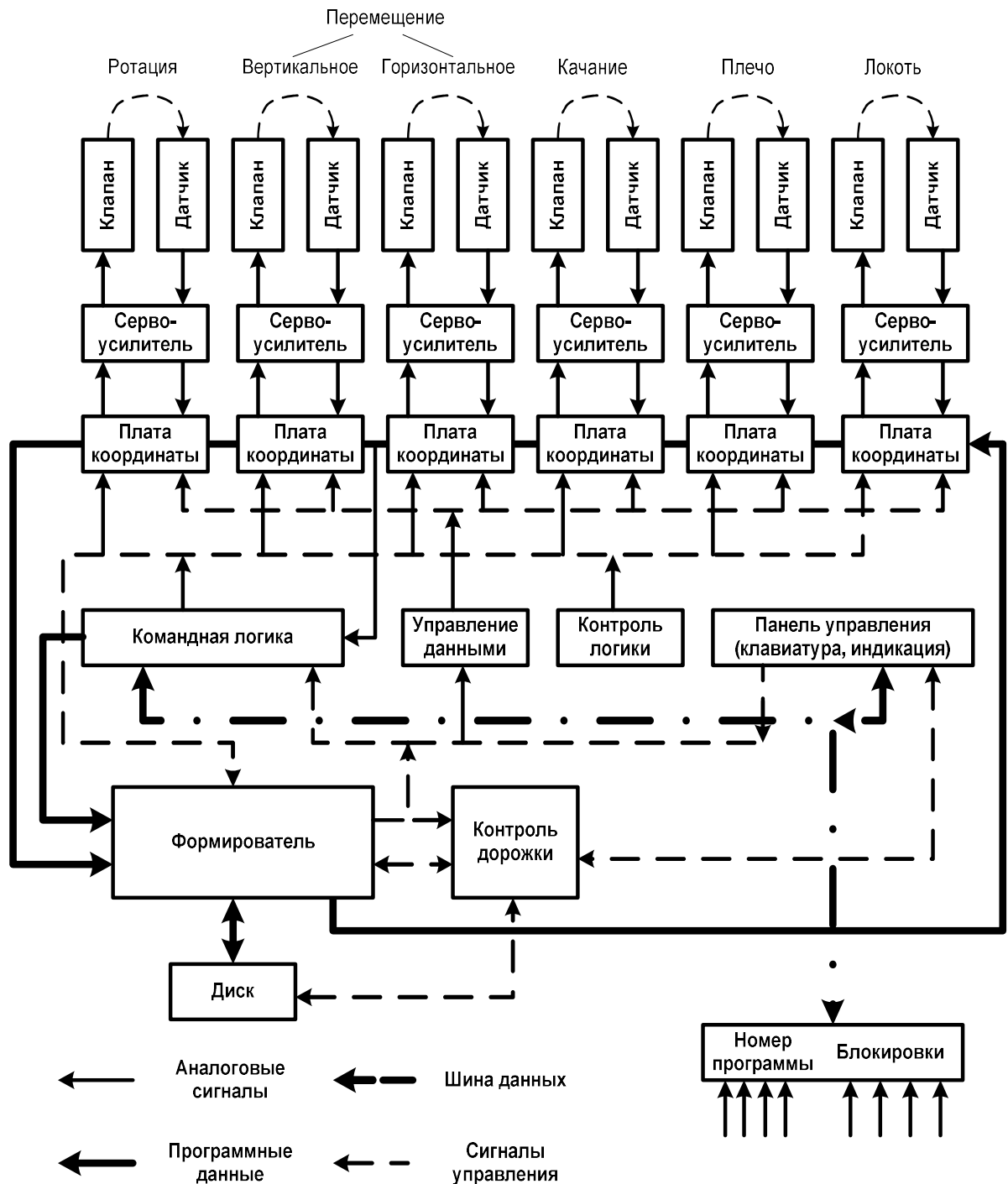


Рис.4.4. Структурная схема системы контурного управления

Существуют два способа построения систем контурного управления. Первый из них сводится к комбинации описанного выше позиционного управления и интерполятора, с помощью которого по определенному алгоритму реализуется непрерывная траектория между точками позиционирования. Вторым способом основан на непосредственном запоминании требуемой непрерывной траектории для каждой степени подвижности.

Очевидное достоинство первого способа — значительно меньший требуемый объем запоминающего устройства, а второго — большая универсальность и возможность реализации более сложных траекторий.

Устройство контурного управления с интерполятором представляет собой по существу устройство позиционного управления, дополненное специальным вычислительным блоком — интерполятором, который осуществляет расчет отрезков траекторий между точками позиционирования по заданной программе.

На рис. 4.4 показана структурная схема системы контурного управления, основанного на втором способе. Устройство относится к гидравлическому промышленному роботу «Коат-а-Матик».

### **4.3. Системы адаптивного управления**

Рассмотренные выше системы программного управления роботами основаны на наиболее простом способе автоматического управления без обратной связи по фактическому состоянию внешней среды, с которой взаимодействует робот. В связи с этим такие системы применимы только при полностью детерминированных и неизменных на протяжении всего процесса управления внешних условиях работы, а также целях управления и параметрах самого робота.

Адаптивное управление осуществляется в функции от параметров внешней среды и поэтому позволяет обеспечить достижение цели управления при непостоянстве или же неполной априорной информации об этих параметрах. Примерами простейших задач, которые могут быть выполнены при адаптивном управлении, являются взятие

произвольно расположенных или подвижных предметов путем самонаведения на них захватного устройства манипулятора, выбор и взятие предметов из ряда других по определенным признакам (форма, цвет и т. д.), обход непредвиденных препятствий и т. п.

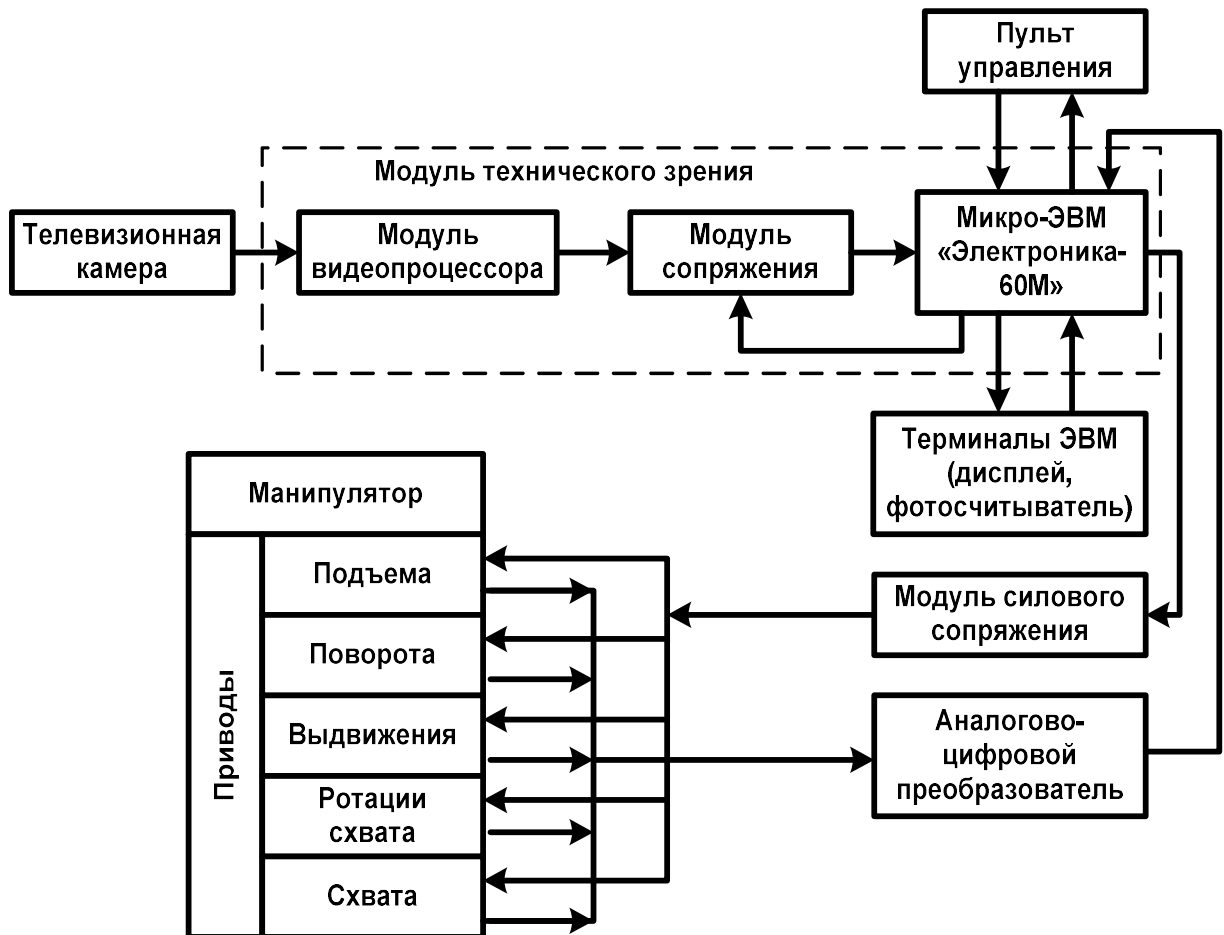
Для осуществления такого управления робот должен быть снабжен сенсорными устройствами.

При адаптивном управлении, разумеется, максимально используются также и заранее составленные программы для выполнения тех частей задания, которые могут быть реализованы этим простым способом. Таким образом, в общем случае в системах адаптивного управления используются оба способа управления — по заранее составленным программам и в функции от текущей информации о внешней среде.

Примером системы адаптивного управления роботом является система управления промышленным роботом для дуговой сварки. Сам процесс сварки ведется по программе. При этом автоматически осуществляется поиск места стыка свариваемых деталей. Затем осуществляется движение вдоль стыка при определенной ориентации и расстоянии электрода относительно стыка. Эти задачи реализуются с помощью различного типа датчиков расстояния и угла наклона (например, индуктивных и контактных), которые размещены на сварочной головке манипулятора.

Другим примером робота с адаптивным управлением является окрасочный робот с простейшим устройством технического зрения в виде линейки фотоэлементов, которая служит для определения контура очередного окрашиваемого изделия.

На рис.4.5 приведена структурная схема промышленного робота МП-8, оснащенного системой технического зрения. Манипулятор робота модульной конструкции с пятью степенями подвижности и цилиндрической системой координат имеет грузоподъемность 15 кг. Управление его приводами осуществляется через пневмоклапаны. Позиционирование обеспечивается методом противодействия с использованием пневматических тормозов оригинальной конструкции.



*Рис.4.5. Структурная схема робота МП-8 с техническим зрением*

Управление приводами производится через модуль силового сопряжения от микро-ЭВМ «Электроника-60М», входящей в состав модуля технического зрения (МТЗ). Микро-ЭВМ реализует заданные динамические и статические характеристики робота, осуществляя решение задач управления и технического зрения в режиме разделения времени. Информация с датчиков обратной связи поступает в ЭВМ через модуль многоканального двенадцатирядного аналого-цифрового преобразователя. Робот МП-8 универсальный. Его типовыми применениями являются сборка, контроль качества и сортировка продукции по внешнему виду, обслуживание технологического оборудования, требующее работы с произвольно расположенными объектами.

Системы адаптивного управления имеют иерархическую структуру. На рис. 4.6 показана обобщенная структура такой системы, которая включает пять уровней управления (УУ1— УУ 5).

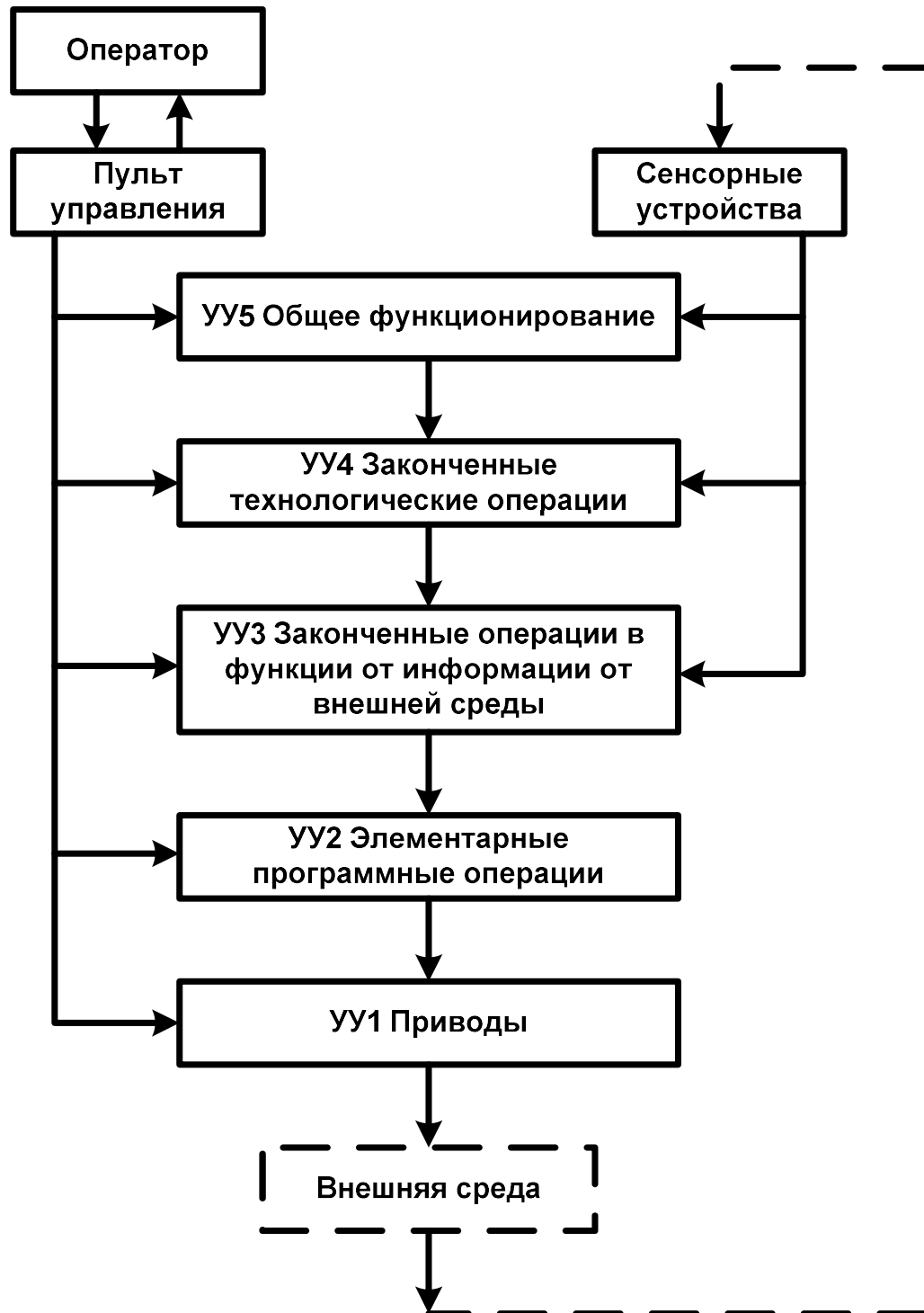


Рис.4.6. Обобщенная структура системы управления оцувствленным роботом

Связь человека-оператора с роботом осуществляется через пульт, в состав которого могут входить как стандартные терминалы ЭВМ, так и специализированные устройства общения. Оператор выдает роботу задания, контролирует их выполнение и проводит общий контроль над процессом функционирования робота в целом.

Пятый (верхний) уровень автоматического управления УУ5 анализирует задания, поступающие от человека-оператора, и определяет последовательность действий робота в соответствии с заданием, т. е. планирует деятельность робота. На этом уровне анализируется информация о внешней среде, получаемая от средств сбора информации, и синтезируются модели внешней среды, на базе которых выполняется планирование действия робота. В общем случае модели внешней среды образуют иерархическую последовательность от первичной, наиболее конкретной модели, которая описывается с помощью параметров среды, непосредственно определяемых сенсорными устройствами, а далее до все более абстрактных моделей, использующих соответственно более обобщенные понятия. Для описания внешней среды (например, словесное описание на естественном языке, получаемое от человека-оператора). В процессе функционирования модели внешней среды корректируются и совершенствуются.

Пятый уровень управления отвечает за функционирование робота как единой системы, обеспечивая реализацию не только основных **«профессиональных» целей» которые стоят перед роботом, но и служебных общесистемных задач**, которые определяются требованиями к условиям функционирования робота (обеспечение надежности, включая защиту от внешних воздействий и внутренних неполадок, условий безопасности и т. д.). В целом уровень УУ5 определяет интеллектуальные возможности робота и круг решаемых им задач.

Четвертый уровень управления УУ4 — это уровень синтеза функционально законченных сложных действий, в ре-

зультате которых достигается конкретная конечная цель, например сборка какого-либо изделия. В соответствии с планом, выработанным на вышестоящем уровне УУ5, на уровне УУ4 производится его разбиение на последовательность элементарных типовых операций, которые реализуются нижними уровнями управления. Так, например, план сборки изделия состоит из последовательности элементарных действий по взятию, ориентированию, соединению и закреплению деталей в узлы, а также из настроечных, контрольно-измерительных и прочих операций. Результатом действия уровня УУ4 является выдача управлений на последующие уровни УУ3, УУ2, а в отдельных случаях — и на уровень УУ1. На уровне УУ4 используется текущая информация от сенсорных устройств для оперативной коррекции планов, получаемых с уровня УУ5.

Третий и второй уровни управления УУ3 и УУ2 — это уровни синтеза элементарных операций, на которые могут быть разбиты законченные действия робота. Различие между этими уровнями заключается в том, что на уровне УУ3 синтезируются управления в функции от информации о внешней среде, а на уровне УУ2 — более простые управления по жесткой программе. В связи с этим при синтезе управлений на уровне УУ3 используются наряду с типовыми программами уровня УУ2 команды на вход уровня УУ1 параллельно с управляющими воздействиями с выхода уровня УУ2. В результате поступившее на вход третьего уровня задание реализуется, во-первых, в виде последовательности типовых программ второго уровня, которые в случае необходимости оперативно корректируются с уровня УУ3 в соответствии с изменениями внешней среды, и, во-вторых, в виде совокупности управляющих воздействий непосредственно на отдельные приводы уровня УУ1. Все эти действия в целом задаются и координируются уровнем УУ3 в зависимости от текущей информации о внешней среде и состоянии самого робота. Здесь происходит и необходимая первичная обработка информации, получаемой с соответствующих сенсорных устройств робота.

На уровне УУ2 рассчитываются управляющие воздействия, которые затем поступают на уровень УУ1, реализующий программное управление приводами.

Н и ж н и й у р о в е н ь управления УУ1 реализует управление по отдельным степеням подвижности робота и представляет собой систему управления приводами, каждый из которых состоит из исполнительного двигателя и устройства управления. От характеристик данного уровня управления зависят, прежде всего, динамические и точностные характеристики робота.

Структурная схема системы управления роботом, изображенная рис. 4.6, является упрощенной. На ней не показаны прямые связи выходов отдельных уровней управления с входами нижних уровней, кроме ближайшего. Также не показаны обратные связи выходов нижних уровней с входами верхних (в том числе информация о завершении отдельных программ, об аварийных ситуациях и т. п.). На схеме не отражены информационные связи отдельных уровней с пультом управления, которые обеспечивают передачу информации о процессе функционирования робота человеку-оператору.

Человек-оператор принципиально может взаимодействовать с роботом на любом уровне иерархии управления. В зависимости от того, на каком уровне происходит это взаимодействие, можно выделять пять режимов такого управления роботом: три копирующих режима (взаимодействие с уровнями УУ1, УУ2, УУ3) и два супервизорных режима управления (взаимодействие с уровнями УУ4 и УУ5). В каждом режиме общение осуществляется по соответствующему каналу связи.

Человек-оператор может выдавать задания роботу непосредственно на уровень УУ1 с помощью кнопочного управления каждым приводом отдельно. Такое управление является весьма трудоемким и требует большого навыка. Временное запаздывание в канале связи (например, при управлении космическим манипулятором) еще более усложняет работу в этом режиме. В связи с этим к нему прибегают только в тех случаях, когда по каким-

либо причинам другие способы управления оказываются неприемлемыми. При выдаче человеком задания роботу на уровень УУ2 обычно используются задающий манипулятор, либо рукоятки, с помощью которых задается вектор скорости движения рабочего органа робота в пространстве декартовых координат. Этот вектор по отдельным степеням подвижности распределяется данным уровнем управления автоматически. Описанные два режима взаимодействия человека с роботом возможны только при качественной визуальной обратной связи и достаточно простой внешней среде.

Наиболее сложным копирующим режимом управления является взаимодействие человека-оператора с роботом на третьем уровне управления. Это взаимодействие происходит уже в режиме двустороннего активного обмена информацией между человеком-оператором и системой управления. В качестве задающего органа при таком взаимодействии также могут быть использованы задающие рукоятки или манипуляторы. Однако исполнительные манипуляторы в данном случае осязательны, и на пульт связи с оператором поступает информация о текущем состоянии робота и об отдельных характеристиках внешней среды. Таким образом, человек-оператор уже не только имеет возможность работать по видеоизображению среды, **но** и использовать другую информацию для управления роботом. Кроме того, **в** этом случае удается автоматически исключить опасность **возникновения некоторых аварийных** ситуаций в результате, например, перегрузки манипулятора, столкновения с препятствием и т. и

Режимом управления, при котором человек-оператор взаимодействует **со** следующим, более высоким уровнем управления - уровнем УУ4, является супервизорный режим управления. В этом случае человек-оператор выдает роботу задания в виде директив, которые описывают процесс функционирования робота на каком-либо проблемно ориентированном языке низкого ранга. Взаимодействие человека-оператора с роботом на этом уровне может иметь форму диалога, т. е, происходить в так называемом

интерактивном режиме. После получения задания и его анализа система управления, в свою очередь, запрашивает человека-оператора о необходимой дополнительной информации для выполнения задания (например, координаты тех или иных предметов, видимых на экране системы телевизионного целеуказания, и т. п.). Робот может обращаться также к человеку-оператору за инструкцией уже в ходе выполнения задания в аварийных и других непредвиденных ситуациях.

Наиболее сложным для реализации системой управления, но зато наиболее простым для человека-оператора является супервизорный режим управления при взаимодействии оператора с уровнем УУ5. В этом случае задания выдаются системе управления роботом в самом общем виде (например, на ограниченном естественном языке), и далее оператор лишь контролирует поведение робота, вмешиваясь в работу системы управления только по ее запросу или в аварийных ситуациях по своему усмотрению. Таким образом, здесь также реализуется интерактивный режим взаимодействия человека с роботом.

Возможность осуществления перечисленных выше различных режимов автоматизированного управления роботом со стороны человека-оператора позволяет ему полностью использовать все свои интеллектуальные и физические способности для обеспечения выполнения роботом поручаемых заданий.

Описанная обобщенная структура системы управления роботом может быть аппаратно реализована на одной или нескольких ЭВМ. Отдельные ее уровни могут быть выполнены в виде специализированных устройств управления, в свою очередь управляемых от ЭВМ. Подобным образом может быть, в частности, организовано управление группой роботов, у которых периферийные устройства управления управляются специализированными устройствами, а координация их работы осуществляется центральной управляющей ЭВМ. При этом на местах целесообразно реализовать три нижних уровня управления, а остальные — в центральной ЭВМ.

Такая организация управления группой роботов позволяет максимально автономизировать каждый робот и значительно снизить поток заявок на обслуживание в центральную ЭВМ. Однако в то же время это может привести к значительному усложнению системы управления в целом. В связи с этим оптимальное распределение функций между центральным и периферийными устройствами управления имеет большое значение, в том числе и в отношении надежности и стоимости системы управления роботом.

#### 4.4. Примеры построения систем управления роботами

##### 4.4.1. Управление транспортной платформой как средством передвижения робота

Рассмотрим методику автоматического управления возвратно-поступательным движением транспортной платформы робота.

Роботы, осуществляющие возвратно-поступательные движения, применяют для очистки и последующей окраски больших поверхностей, например, при доковом ремонте речных и морских судов.

На данном этапе мы не будем рассматривать управление рабочими органами робота (шлифовальная машина, шпаклевщик, краскопульт, и.т. д).

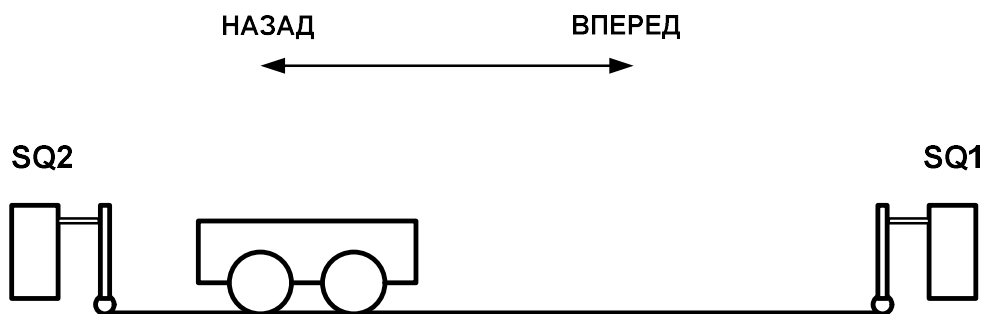
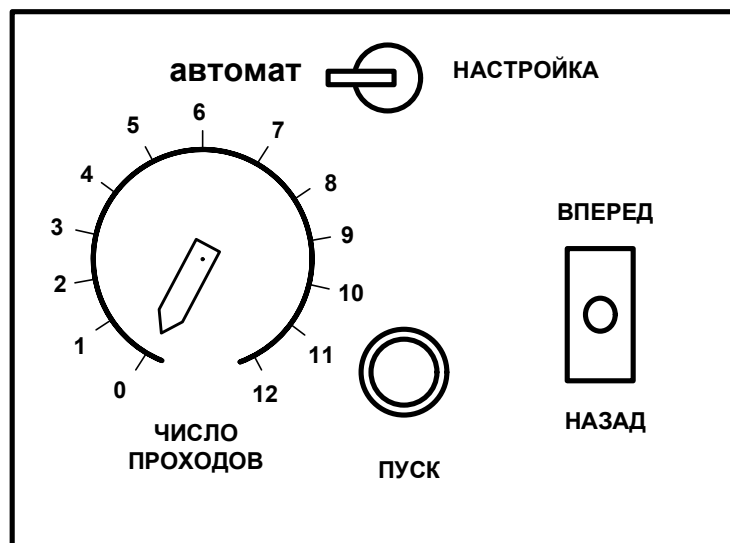


Рис.4.7. Транспортная платформа робота

Перемещение транспортной платформы робота, ограничивают концевые выключатели (вперед SQ1, назад SQ2).

На внешней панели управляющего модуля установлены

- двухпозиционный переключатель режима управления, имеющий состояния «автомат» и «настройка»;
- многопозиционный задатчик числа проходов;
- трехпозиционный переключатель направления движения модели, имеющий самовозврат в среднее нейтральное положение;
- кнопка «пуск», обеспечивающая начало работы системы автоматического управления.



*Рис.4.8. Внешняя панель управляющего модуля*

Движение платформы осуществляется с помощью реверсивного электродвигателя, управляемого с помощью выходных реле «Вперед» и «Назад».

В результате анализа технологического процесса можно сформулировать следующие требования к управляющей системе:

1. В режиме «Настройка» платформа подчиняется командам, подаваемым с помощью трехпозиционного переключателя. При подаче команды «Вперед» платформа перемещается вперед. При подаче команды «Назад» платформа перемещается назад. При отпускании переключателя модель прекращает движение.

2. В режиме «Настройка» концевые выключатели SQ1 и SQ2 не ограничивают перемещение платформы.

3. В режиме «Автомат» платформа не подчиняется командам, подаваемым трехпозиционным переключателем.

4. В режиме «Автомат» после кратковременного нажатия на кнопку «Пуск» платформа начинает движение вперед до срабатывания концевого выключателя SQ1, после чего начинается движение назад, которое сохраняется и после отпускания SQ1 до срабатывания концевого выключателя SQ2, после чего указанные циклы повторяются до достижения заданного числа проходов.

5. Если при осуществлении автоматического движения вперед или назад, происходящего в режиме «Автомат», произвести переключение на режим «Настройка», платформа остановится. При обратном переключении на режим «Автомат» движение автоматически не возобновится.

Поскольку в режиме «Автомат» движение вперед сохраняется и после отпускания кнопки «Пуск», а движение назад сохраняется и после отпускания SQ1, становится очевидным, что управляющий модуль содержит устройства памяти – RS триггеры.

Формализуем указанные требования в виде блок-схемы управляющего алгоритма, используя следующие условные обозначения:

Входные сигналы внешние:

Настр = 1 – система находится в режиме «Настройка»;

Настр  $\neq$  1 – система находится в режиме «Автомат»;

Квп = 1 – подана команда «Вперед»;

Кн = 1 – подана команда «Назад»;

Пуск = 1 – подана команда «Пуск»;

SQ1 = 1 – сработал концевой выключатель SQ1;

SQ2 = 1 – сработал концевой выключатель SQ2.

Входные сигналы внутрисистемные:

Пкп = 1 – есть память команды «Пуск»;

Пс1 = 1 – есть память срабатывании SQ1.

N > 0 – заданное количество проходов платформы не достигнуто;

Выходные сигналы внешние:

Вп:= 1 – включение привода модели для движения вперед;

Наз:= 1 – включение привода модели для движения назад.

Выходные сигналы внутрисистемные:

Пкп<sup>+</sup>:= 1 – запоминание команды «Пуск»;

Пс1<sup>+</sup>:= 1 – запоминание срабатывания SQ1;

Пкп<sup>-</sup>:= 1 – сброс памяти команды «Пуск»;

Пс1<sup>-</sup>:= 1 – сброс памяти срабатывания SQ1.

N - 1 := 1 – вычитание 1 из счетчика завершенных проходов.

При этом при достижении заданного числа завершенных проходов платформа должна остановиться.

С учетом приведенных рассуждений управляющий алгоритм принимает вид.

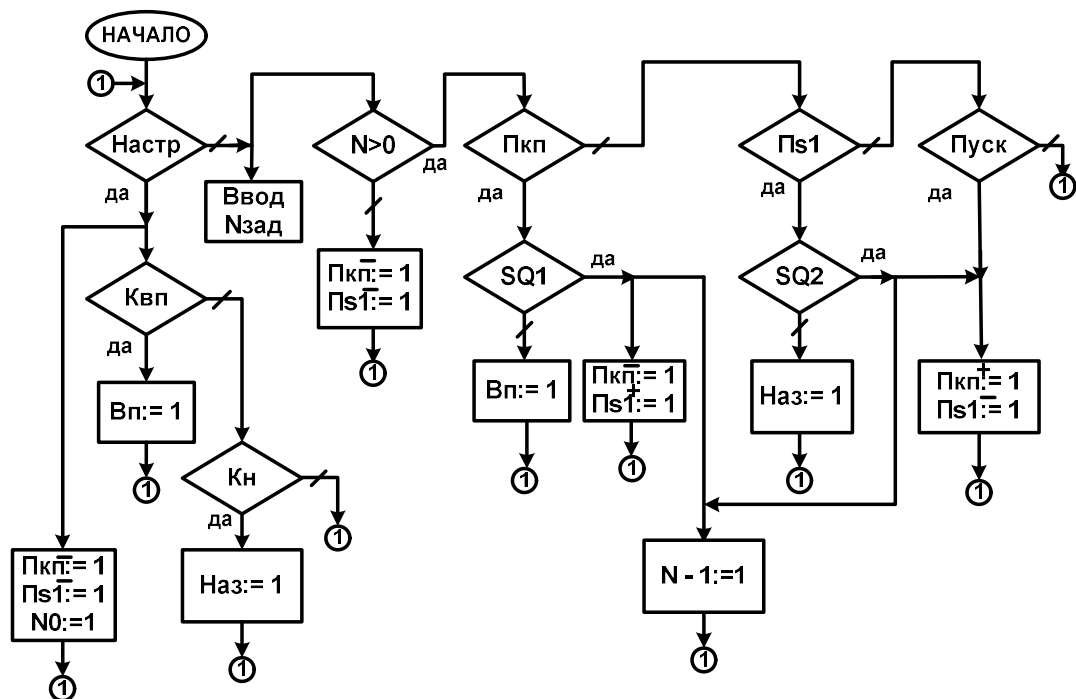


Рис.4.9. Алгоритм управления транспортной платформой робота

Попробуем разработать электрическую принципиальную схему управляющего модуля на основе ПЗУ, с использованием двоичного счетчика, шифратора, цифрового компаратора, RS – триггеров и

дифференцирующих R-C цепочек для управления триггерными схемами. Для начала составим логические функции выходных внешних и внутрисистемных сигналов [9].

$$Вп = Квп \text{ Настр} + \overline{SQ1} \overline{Пкп} (N>0) \text{ Настр}$$

$$\text{Наз} = Кн \overline{Квп} \text{ Настр} + \overline{SQ2} \overline{Пs1} \overline{Пкп} (N>0) \text{ Настр}$$

$$\overline{Пкп} = \text{Настр} + (N>0) \text{ Настр} + \overline{SQ1} \overline{Пкп} (N>0) \text{ Настр}$$

$$\overline{Пs1} = \text{Настр} + (N>0) \text{ Настр} + \overline{SQ2} \overline{Пs1} \overline{Пкп} (N>0) \text{ Настр} + \text{Пуск} \overline{Пs1} \overline{Пкп} (N>0) \text{ Настр}$$

$$\overline{Пкп}^+ = \overline{SQ2} \overline{Пs1} \overline{Пкп} (N>0) \text{ Настр} + \text{Пуск} \overline{Пs1} \overline{Пкп} (N>0) \text{ Настр}$$

$$N0 = \text{Настр}$$

$$\overline{Пs1}^+ = \overline{SQ1} \overline{Пкп} (N>0) \text{ Настр}$$

$$N-1 = \overline{Пs1}^+ + \overline{SQ2} \overline{Пs1} \overline{Пкп} (N>0) \text{ Настр}$$

Таким образом, нам потребуется ПЗУ, имеющее 8 выходов и не менее 9 входов, а также два RS –триггера [10].

Для указанных условий подходит ПЗУ **КР556РТ18**.

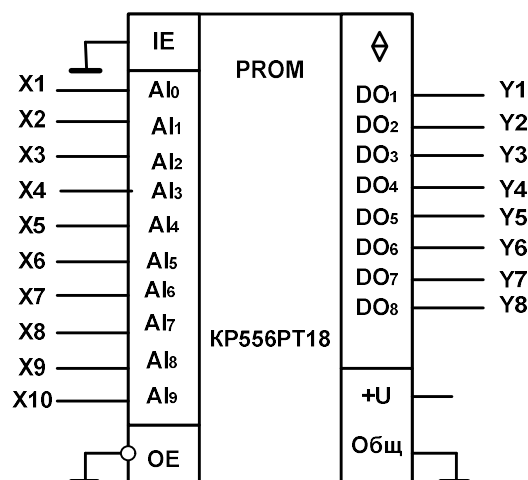


Рис.4.10. ПЗУ КР556РТ18

Для формирования сигнала ( $N > 0$ ) используем двоичный реверсивный счетчик K561IE11 и шифратор K555IB3, входы которого подключим к многопозиционному переключателю.

Для формирования памяти команды «Пуск» и памяти срабатывания концевого выключателя SQ1 используем два триггера K561TP2.

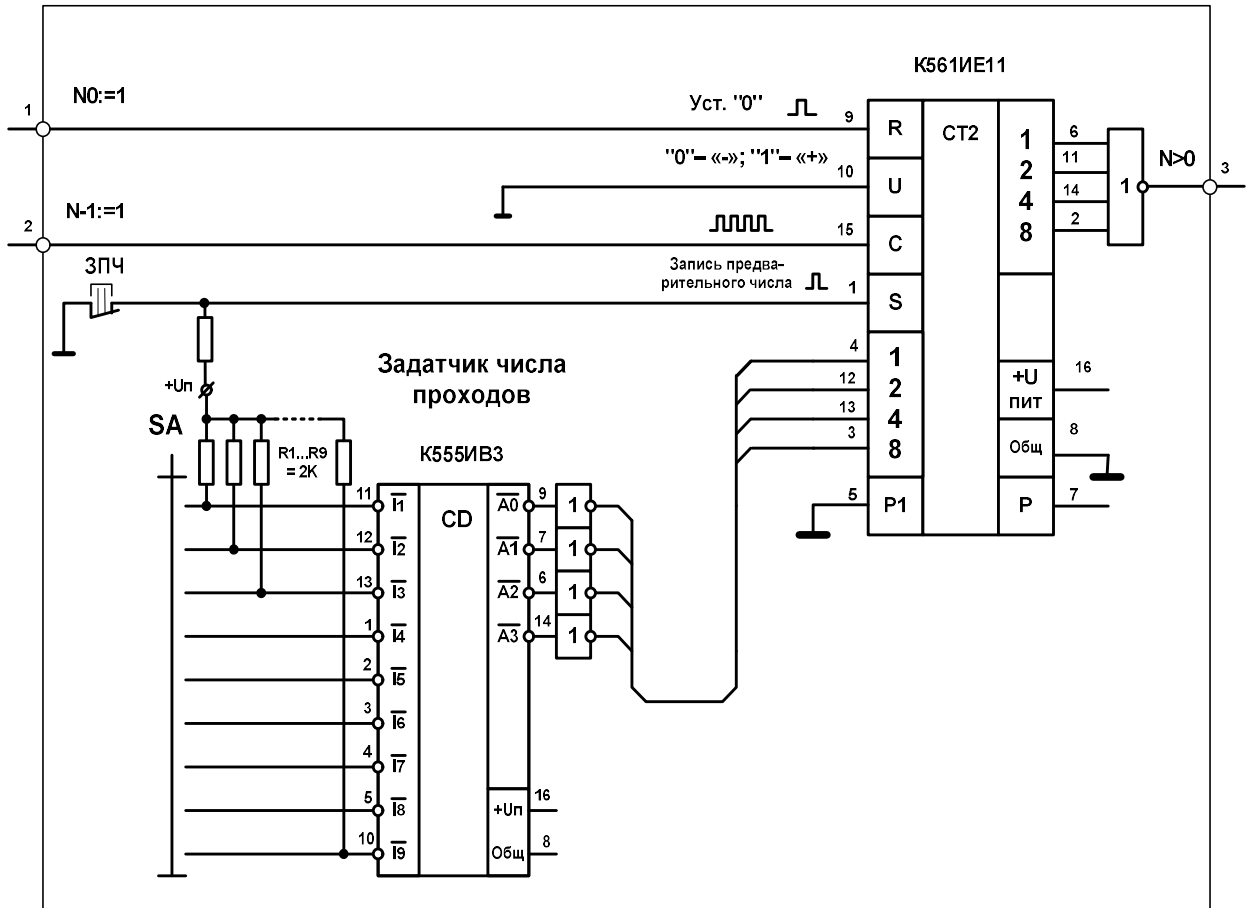


Рис.4.11. Формирователь сигнала  $N > 0$

На принципиальной электрической схеме обозначим данный формирователь в виде функционального блока.



Рис.4.12. Формирователь сигнала  $N > 0$

Поскольку внешние входные сигналы в рассматриваемой задаче формируют контактные переключатели, необходимо выполнить их согласование с ПЗУ.

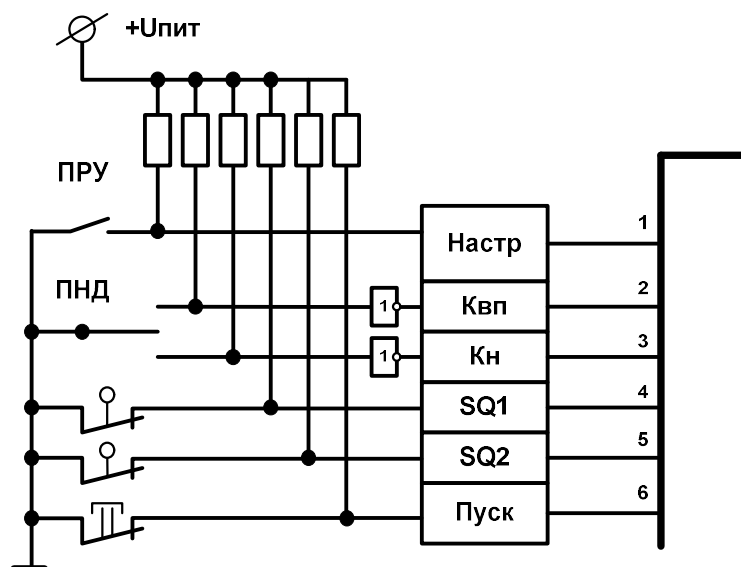


Рис.4.13. Согласование контактных переключателей с ПЗУ

При реализации логических функций на ПЗУ, наряду с электрической принципиальной схемой, в проектной документации необходимо представить таблицу программирования.

| X1    | X2  | X3 | X4  | X5  | X6   | X7  | X8  | X9  | X10 | Y1 | Y2  | Y3               | Y4               | Y5               | Y6               | Y7  | Y8 |
|-------|-----|----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|----|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|-----|----|
| Настр | Квп | Кн | SQ1 | SQ2 | Пуск | N>0 | Пкп | Пs1 | -   | Вп | Наз | Пкп <sup>+</sup> | Пкп <sup>-</sup> | Пs1 <sup>+</sup> | Пs1 <sup>-</sup> | N-1 | N0 |
| 1     | 1   | X  | X   | X   | X    | X   | X   | X   | 0   | 1  | 0   | 0                | 1                | 0                | 1                | 0   | 1  |
| 0     | X   | X  | 0   | X   | X    | 1   | 1   | X   | 0   | 1  | 0   | 0                | 0                | 0                | 0                | 0   | 0  |
| 1     | 0   | 1  | X   | X   | X    | X   | X   | X   | 0   | 0  | 1   | 0                | 1                | 0                | 1                | 0   | 1  |
| 0     | X   | X  | X   | 0   | X    | 1   | 0   | 1   | 0   | 0  | 1   | 0                | 0                | 0                | 0                | 0   | 0  |
| 0     | X   | X  | X   | X   | 1    | 1   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 1                | 0                | 0                | 1                | 0   | 0  |
| 0     | X   | X  | X   | 1   | X    | 1   | 0   | 1   | 0   | 0  | 0   | 1                | 0                | 0                | 1                | 1   | 0  |
| 1     | X   | X  | X   | X   | X    | X   | X   | X   | 0   | 0  | 0   | 0                | 1                | 0                | 1                | 0   | 1  |
| 0     | X   | X  | 1   | X   | X    | 1   | 1   | X   | 0   | 0  | 0   | 0                | 1                | 1                | 0                | 1   | 0  |

Рис.4.14. Таблица программирования ПЗУ

Обобщая изложенные материалы и рассуждения, строим принципиальную схему управляющего модуля.

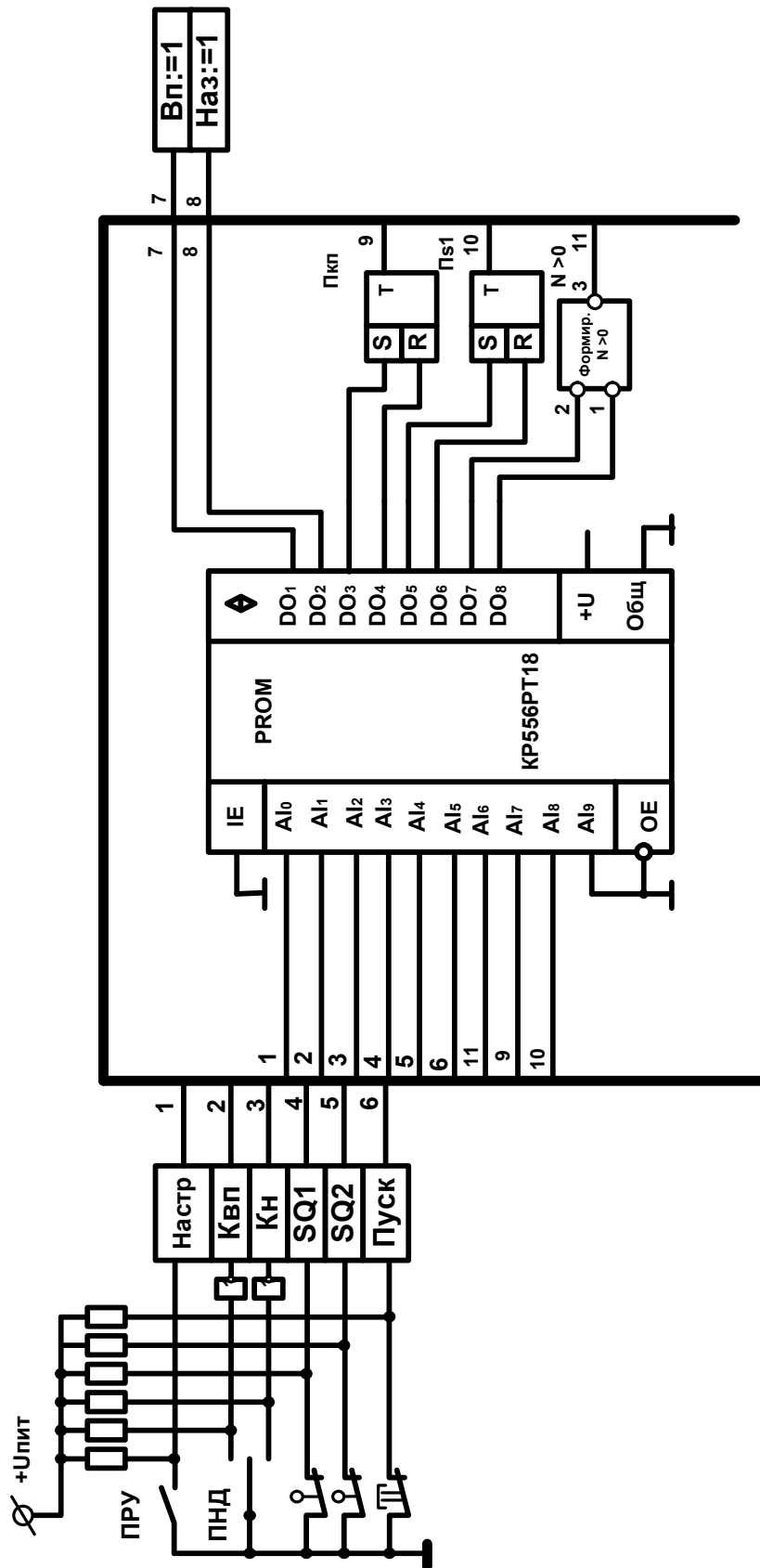


Рис. 4.15. Принципиальная схема управляющего модуля

#### **4.4.2. Управление покрасочным манипулятором.**

Покрасочные (окрасочные) роботы – устройства для выполнения окрасочных работ. Конструктивно основываются на манипуляторах, которые сами, в свою очередь, копируют движение человеческой руки. Особенностью покрасочных роботов является большое количество однообразных по характеру, но различных по технике выполнения технологических операций, осуществление которых на них возлагается.

Один и тот же покрасочный робот "рука" может использоваться для окраски деталей разных конфигураций, от плоских листов до сложного рельефного рисунка. Это предъявляет повышенные требования к числу степеней подвижности рабочего инструмента.

Почти всегда покрасочные роботы выполняются перепрограммируемыми.

Особенностью этого типа механизмов является необходимости подведения в рабочую зону краски. Окрасочные операции выполняются с помощью форсунок. Краска подается по гибким соединительным шлангам, повреждение которых особенно часто происходит в местах сгиба.

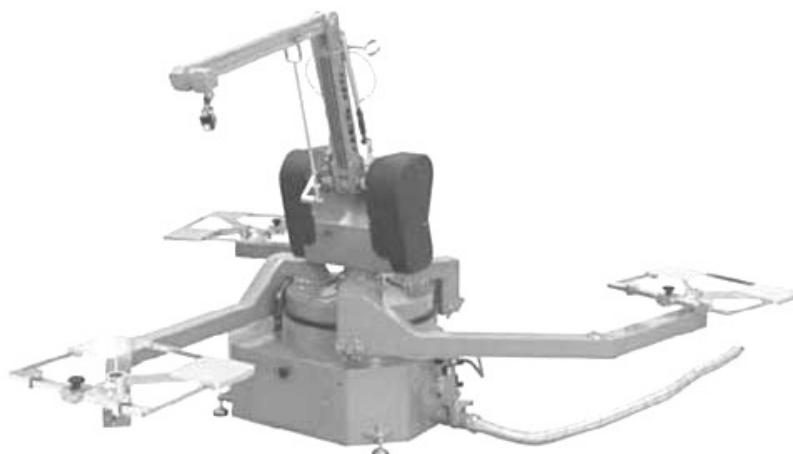
Покрасочные роботы выполняются стационарными и подвижными. Подвижные механизмы часто используются для окраски внутренних поверхностей труб, конструктивно выпускаются в виде манипулятора, смонтированного на подвижной самоходной тележке. Движение управляется бортовым компьютером или оператором с выносного пульта.

Покрасочные роботы часто изготавливаются без каких-либо датчиков, если удастся обеспечить точное позиционирование объектов перед устройством. Стандартная комплектация механизма: набор сервоприводов, каждый из которых управляет одним звеном руки манипулятора, система управления и рабочий инструмент.



*Рис.4.16. Стационарный покрасочный манипулятор*

Покрасочный робот GR-530 G (рис.4.17) предназначен для выполнения различных покрасочных операций методом электростатического, пневматического и т.п. распыления при покраске сложных изделий из дерева, металла, пластика и прочих материалов.



*Рис.4.17. Покрасочный робот GR-530 G*

Антропоморфный робот GR-530G – это электронный агрегат с манипулятором, который движется по 5 осям. Манипулятор робота обладает высокой гибкостью перемещения благодаря своей легкос-

плавной конструкции и пневматической балансировке. Дополнительную гибкость роботу придает особая система запястья робота, которая наряду с возможностью разворота каждой оси на 360, позволяет «достать» любую точку даже сложного по форме изделия.

Карусель для погрузки изделий состоит из двух и более суппортов для погрузки неокрашенных и выгрузки окрашенных изделий. Каждый суппорт оснащен поворотной платформой для точного позиционирования детали. Робот самостоятельно контролирует поворот карусели / платформы во время покраски.

Для программирования рабочих циклов предусмотрена программа самообучения, в которой оператор выполняет процесс покраски предмета (двигая своей рукой манипулятор робота), программа движения записывается в память компьютера и затем воспроизводится с большей или меньшей скоростью. Сохраненные программы могут редактироваться методом «блочного программирования».

Хранение и управление программами (макс. 9999 различных программ) осуществляется с помощью интегрированного персонального компьютера; программы сортируются по буквенно-числовой нумерации и записываются на флеш-устройство.

Программы вручную выбираются со стандартной клавиатуры с помощью системы быстрого поиска или джойстиком удаленного управления.

#### ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

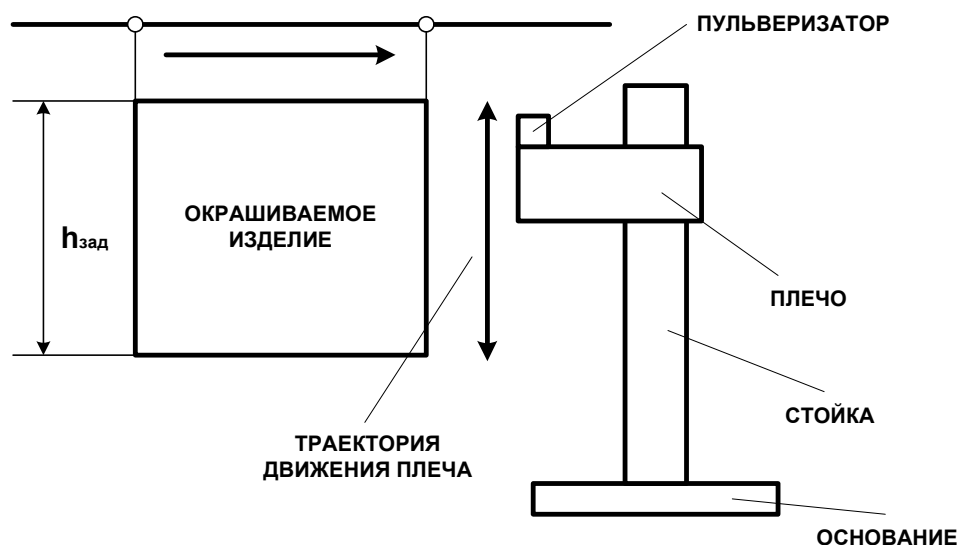
|                                         |                                  |
|-----------------------------------------|----------------------------------|
| Количество осей, шт.                    | 5                                |
| Вспомогательные оси, шт.                | 3                                |
| Макс. нагрузка на запястный шарнир, кг  | 3                                |
| Тип моторов                             | Сервомоторы DC                   |
| Позиционирование осей                   | энкодеры с обратной связью       |
| Изменение скорости выполнения программы | 1 – 200%                         |
| Кол-во суппортов карусели, шт.          | 3                                |
| Рабочая температура, град. С            | от 0 до +40                      |
| Относительная влажность                 | 75% без конденсата               |
| Сжатый воздух, бар                      | 7                                |
| Расход сжатого воздуха, л/мин.          | 20 (исполнение АTEX – 220 л/мин) |

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| Метод программирования | самообучение |
| Радиус карусели, мм    | 1620         |
| Вес, кг                | 750          |

В общем случае, покрасочный робот содержит собственно манипулятор, снабженный рабочим органом - пульверизатором (пульверизаторами), приводы перемещения рабочего органа, датчики перемещения рабочего органа в пространстве и управляющую систему.

Выполним анализ логики перемещения пульверизатора простейшего покрасочного робота в двухкоординатном пространстве (на плоскости), например при окраске поверхностей плоских деталей.

Траектория движения рабочего органа может быть представлена в следующем виде.



*Рис.4.18. Траектория движения пульверизатора*

При принятой траектории пульверизатор должен постоянно перемещаться челночным способом на расстояние  $h_{\text{зад}}$  с одновременной подачей порошкового (или другого) красителя только в том случае, если изделие находится в зоне захвата пульверизатора.

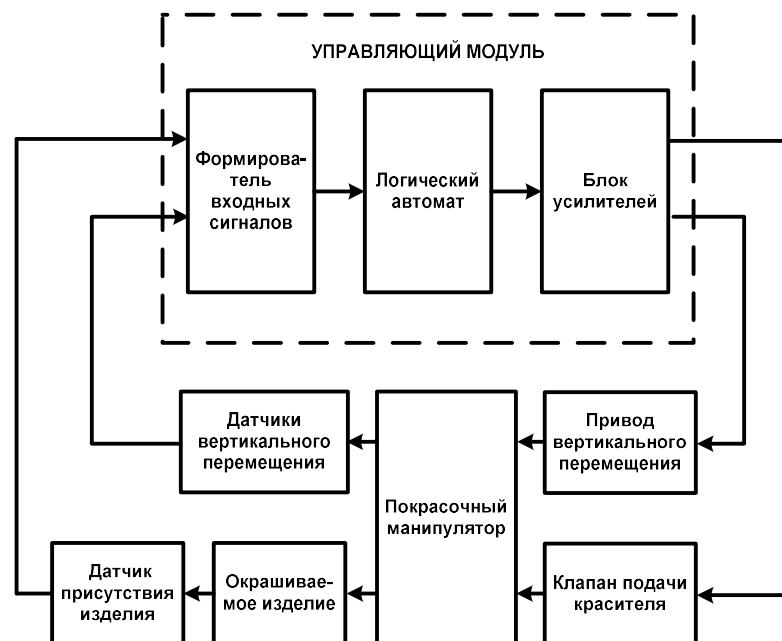
Длина шага вертикального перемещения пульверизатора определяется высотой окрашиваемого изделия и может варьироваться в значительном диапазоне. Физически, устройствами ограничивающими пределы вертикального перемещения могут быть либо переустанавливаемые концевые выключатели, либо импульсные фотоэлектрические преобразователи типа ПДФ-3.

Фиксация наличия окрашиваемого изделия в зоне захвата пульверизатора может осуществляться концевыми выключателями, ультразвуковыми или оптическими датчиками.

Контролируемыми параметрами будут являться:

- длина перемещения по вертикали «вверх»;
- длина перемещения по вертикали «вниз»;
- наличие изделия в зоне захвата пульверизатора.

Таким образом, программная система управления данным покрасочным роботом должна содержать три информационных устройства, привод перемещения «плеча» робота, устройство подачи/отключения подачи красителя в пульверизатор и управляющий модуль, скомпонованный из формирователя входных сигналов, логического автомата и блока усилителей мощности.



*Рис.4.19. Функциональная схема системы управления покрасочным роботом*

Для разработки управляющего алгоритма рассмотрим технологическую схему покрасочного манипулятора.

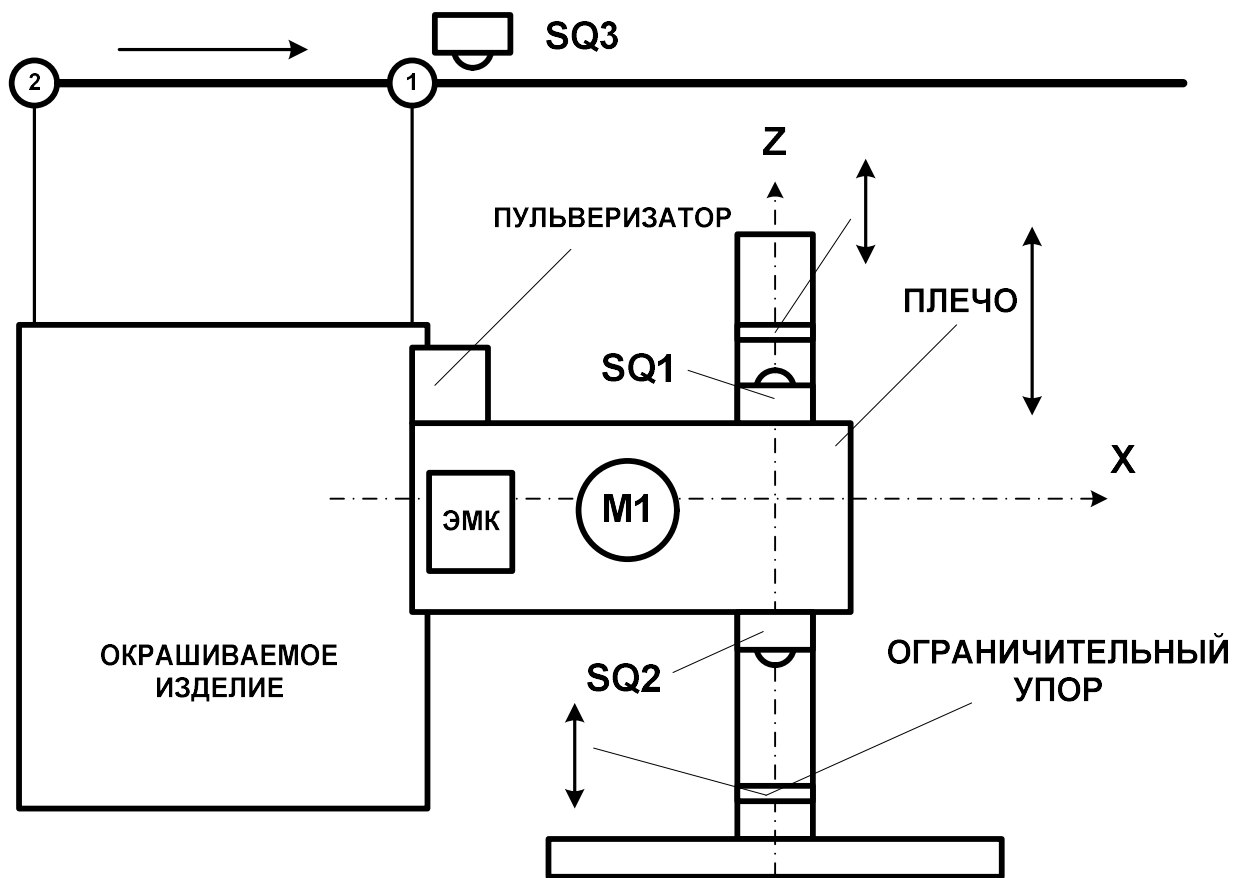


Рис.4.20. Технологическая схема покрасочного манипулятора.

Предельное вертикальное перемещение пульверизатора (плеча) по оси Z ограничено SQ1 и SQ2. Указанные концевые выключатели «срабатывают» при соприкосновении с ограничительными упорами, установленными на стойке с возможностью перемещения с последующей фиксацией. Вертикальное перемещение плеча осуществляет электропривод M1. Подача покрасочного порошка в пульверизатор производится с помощью «нормально закрытого» электромагнитного клапана ЭМК.

Окрашиваемое изделие перемещается по направляющему подвесному рельсу с помощью самостоятельного привода.

Включение привода M1 и открытие клапана ЭМК должно производиться после первого срабатывания SQ3. Остановка M1 и от-

ключение ЭМК должно производиться после второго срабатывания SQ3.

Для установления однозначности введем следующие условия:

1. Первое движение плеча всегда производится «вверх» до срабатывания SQ1.
2. Затем производится движение «вниз» до срабатывания SQ2.
3. После срабатывания SQ2 производится повторное движение «вверх» до срабатывания SQ1.
4. Условия 2 и 3 продолжают последовательно выполняться до второго срабатывания SQ3.

Формализуем перечисленные условия в виде блок-схемы управляющего алгоритма с учетом того, что для реализации этих условий придется использовать устройства памяти – триггеры.

Введем условные обозначения.

Внешние входные сигналы:

SQ3=1 –сработал SQ3;

SQ1=1 – пульверизатор достиг верхнего положения;

SQ2=1 – пульверизатор достиг нижнего положения;

Внутрисистемные входные сигналы:

КВПМ=1 – есть команда включения приводов манипулятора;

П<sub>SQ1</sub>=1 – есть память срабатывания SQ1;

П<sub>SQ2</sub>=1 – есть память срабатывания SQ2;

Внешние выходные сигналы:

M1B:=1 – включение привода манипулятора для движения «вверх»;

M1H:=1 – включение привода манипулятора для движения «вниз»;

ЭМК:=1 – включение электромагнитного клапана;

Внутрисистемные выходные сигналы:

$KBPM^+:=1$  – сформировать команду включения приводов манипулятора;

$KBPM^-:=1$  – сбросить команду включения приводов манипулятора;

$П_{SQ1}^+:=1$  – запомнить срабатывание SQ1;

$П_{SQ2}^+:=1$  – запомнить срабатывание SQ2;

$П_{SQ1}^-:=1$  – сбросить память срабатывания SQ1;

$П_{SQ2}^-:=1$  – сбросить память срабатывания SQ2;

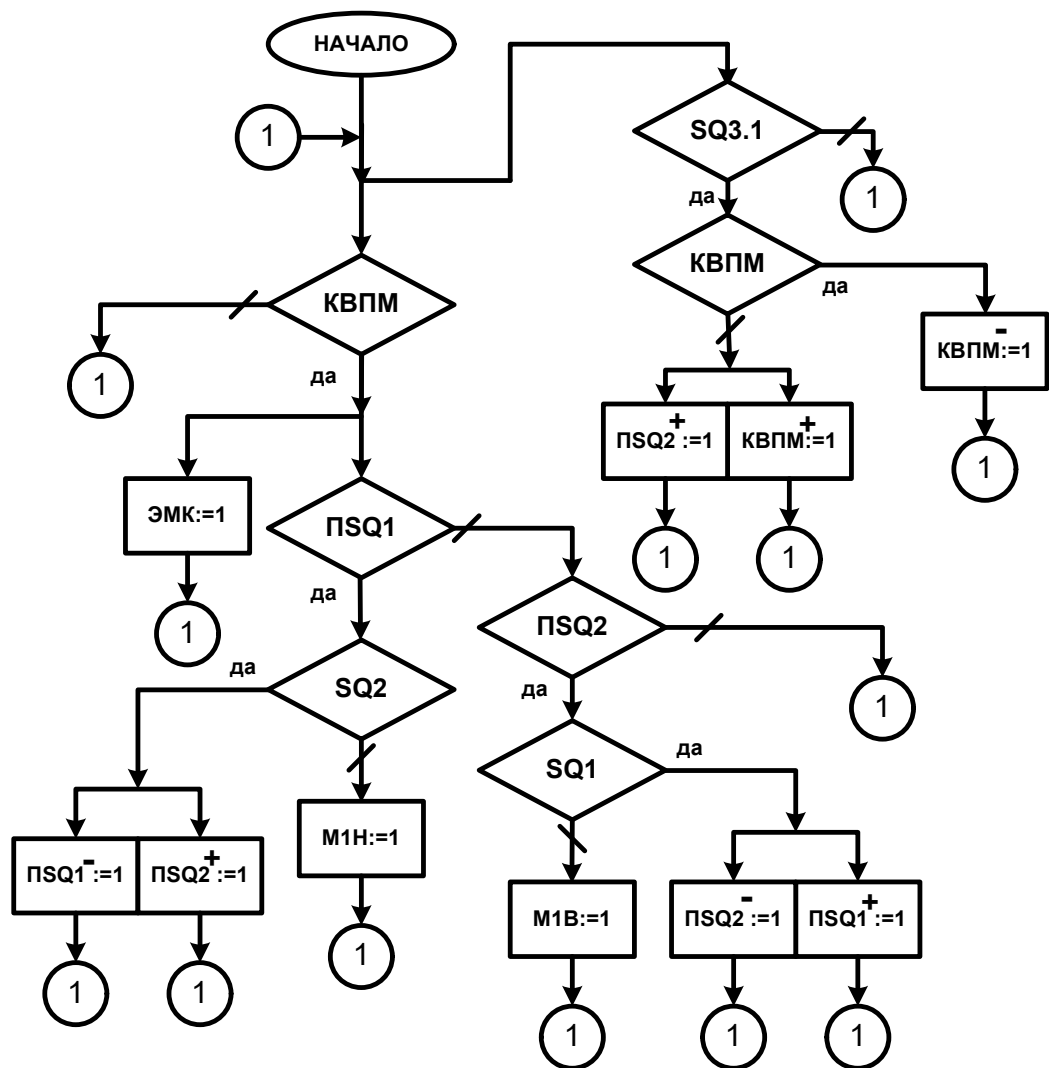


Рис.4.21. Блок-схема алгоритма управления приводами покрасочного манипулятора

Для разработки электрической схемы, прежде всего, необходимо составить логические функции управления [9].

$$\text{ЭМК} = \text{КВПМ}$$

$$\text{КВПМ}^+ = \overline{\text{КВПМ}} \cdot \text{SQ3}$$

$$\text{КВПМ}^- = \text{КВПМ} \cdot \text{SQ3}$$

$$\text{ПСQ1}^- = \text{SQ2} \cdot \text{ПСQ1} \cdot \text{КВПМ}$$

$$\text{ПСQ2}^+ = \text{ПСQ1}^- + \overline{\text{КВПМ}} \cdot \text{SQ3}$$

$$\text{ПСQ1}^+ = \text{ПСQ2}^- = \text{SQ1} \cdot \text{ПСQ2} \cdot \overline{\text{ПСQ1}} \cdot \text{КВПМ}$$

$$\text{M1H} = \overline{\text{SQ2}} \cdot \text{ПСQ1} \cdot \text{КВПМ}$$

$$\text{M1B} = \overline{\text{SQ1}} \cdot \text{ПСQ2} \cdot \overline{\text{ПСQ1}} \cdot \text{КВПМ}$$

Реализуем логические функции на микросхемах серии К561.

Преобразуем полученные логические функции в соответствии с правилом де Моргана.

$$\text{ЭМК} = \text{КВПМ}$$

$$\text{КВПМ}^+ = \overline{\text{КВПМ} + \overline{\text{SQ3}}}$$

$$\text{КВПМ}^- = \overline{\overline{\text{КВПМ}} + \overline{\text{SQ3}}}$$

$$\text{ПСQ1}^- = \overline{\overline{\text{SQ2}} + \overline{\text{ПСQ1}} + \overline{\text{КВПМ}}}$$

$$\text{ПСQ2}^+ = \overline{\overline{\text{ПСQ1}}^- \cdot \overline{\text{КВПМ}} \cdot \overline{\text{SQ3}}}$$

$$\text{ПСQ1}^+ = \text{ПСQ2}^- = \overline{\overline{\text{SQ1}} + \overline{\text{ПСQ2}} + \overline{\text{ПСQ1}} + \overline{\text{КВПМ}}}$$

$$\text{M1H} = \overline{\overline{\text{SQ2}} + \overline{\text{ПСQ1}} + \overline{\text{КВПМ}}}$$

$$\text{M1B} = \overline{\overline{\text{SQ1}} + \overline{\text{ПСQ2}} + \overline{\text{ПСQ1}} + \overline{\text{КВПМ}}}$$

Из анализа алгоритма следует, что кроме элементов «И-НЕ», «ИЛИ-НЕ», «НЕ» нам придется использовать два RS – триггера и один D – триггер, включенный по схеме Т – триггера.

При составлении электрической схемы необходимо помнить, что при включении питания все триггеры должны «сбрасываться». Также триггеры должны сбрасываться и в соответствии с логикой управления.

Поскольку внешними входными сигналами являются сигналы контактных концевых выключателей, то в электрической схеме необходимо предусмотреть их согласование с интегральными микросхемами.

Электрическая схема управления принимает вид.

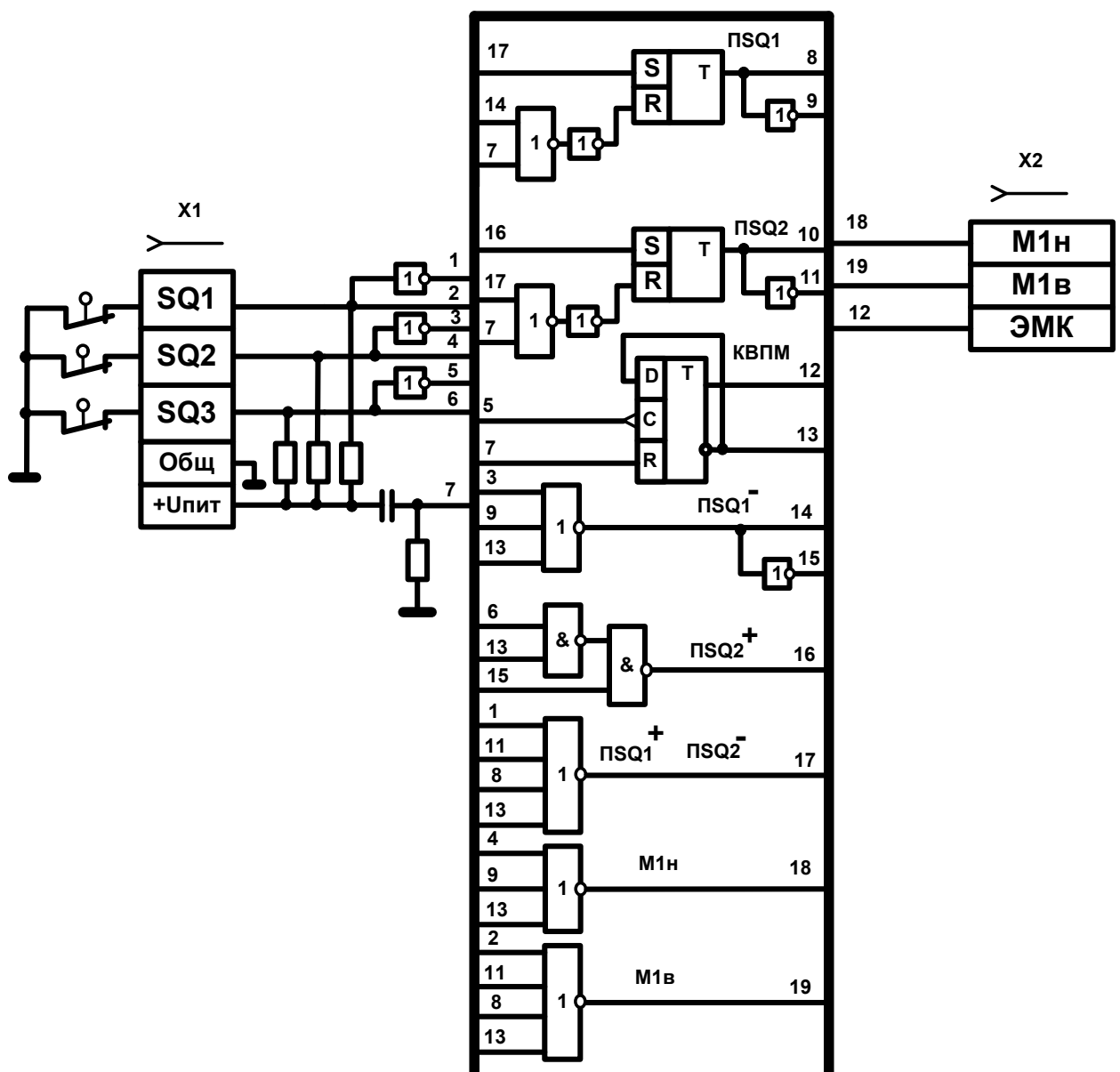


Рис.4.22. Электрическая схема управления

#### **4.4.3. Управление роботизированным штабелером стеллажного склада.**

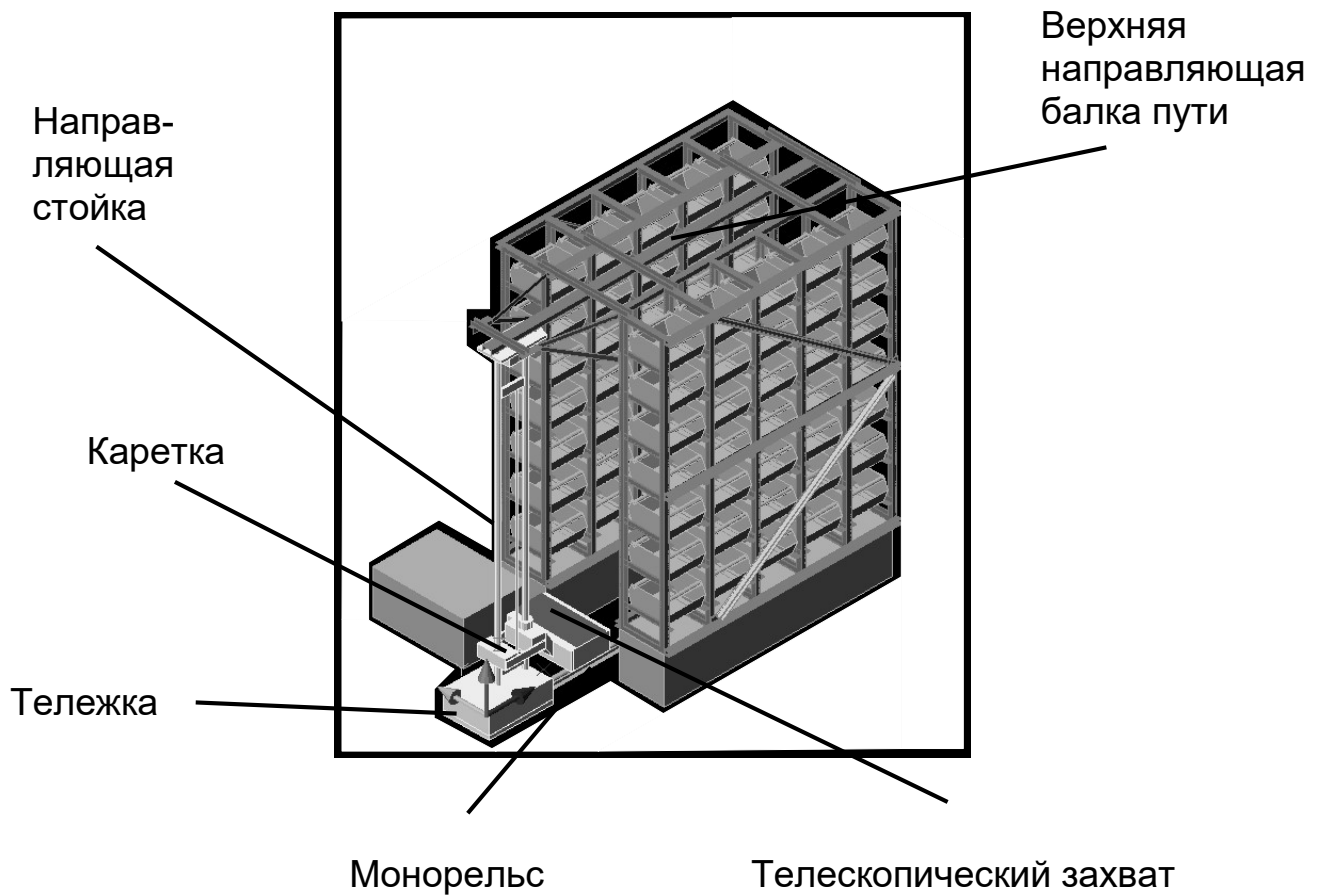
Мы с вами живем в эру инноваций: едва ли не каждая отрасль человеческой жизни так или иначе связана с автоматизацией. Разумеется, автоматические системы призваны сделать нашу ежедневную деятельность более простой и удобной. Это справедливо и для такой промышленной отрасли, как организация работы склада. Чтобы оптимизировать погрузо-разгрузочные действия, в автоматизированном складе применяют штабелер роботы. Эти стеллажные приспособления позволяют полностью переложить процесс переноса грузов «на плечи» техники. Они могут иметь разную грузоподъемность: от 50 до 1000 кгс. Габариты грузов, которые подвластны роботам-штабелерам от 300x400 до 800x1200 мм.

**Штабелер робот** – это такая тележка, приводимая в движение по горизонтали. Двигается она по монорельсу на полу склада. Тележка оснащена вертикальным краном с подвижной кареткой. Такое оборудование имеет датчики текущего положения всех его составных частей, а также датчики аварийных ситуаций. Поэтому каждое из действий робота-штабелера является контролируемым.

Как правило, такая техника используется на завершающем этапе складских линий. Она принимает паллеты с продукцией, выдает пустые поддоны. Их также используют с целью доставки материалов на линии.

Тележка штабелера представляет собой сварную металлоконструкцию, несущую два привода: привод вертикального перемещения каретки и привод горизонтального перемещения штабелера.

На тележке установлена вертикальная направляющая стойка, по которой перемещается каретка с телескопическим захватом.

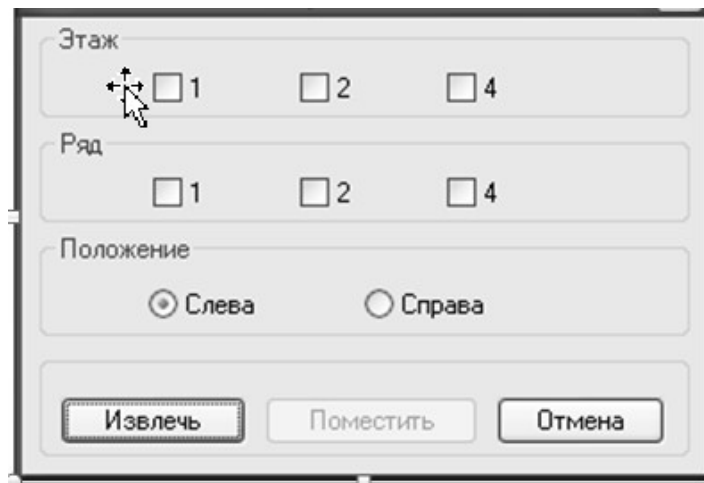


*Рис.4.23. Роботизированный стеллажный склад*

Телескопический захват представляет собой трех секционную зубчато-реечную конструкцию с горизонтальным расположением секций: неподвижной, промежуточной и выдвижной. Последняя секция служит грузовой платформой для установки тары. Грузовая платформа может выдвигаться в обе стороны стеллажа и устанавливать тару с изделиями в ячейки двух противоположных стеллажей.

Стеллаж представляет собой сборную конструкцию, состоящую из двух параллельных рядов секций с ячейками под тару, установленных на опорную раму и соединенных между собой связями и раскосами. К поперечным связям в верхней части стеллажа крепится направляющая балка пути. На опорной раме установлен направляющий рельс, являющийся ходовым путем штабелера.

Программирование штабелера осуществляется с помощью пульта в следующей последовательности.



*Рис.4.24. Пульт управления роботом штабелером*

С помощью трех переключателей набирается требуемый номер этажа; при этом первый переключатель означает 1-ый этаж, второй – 2-й этаж, третий – 4-ый этаж.

Номера остальных этажей можно получать через комбинацию этих трех переключателей (например, 3-й этаж – включаются вместе первый и второй переключатели).

Аналогично набирается требуемый номер ряда. Далее выбирается положение стеллажа (левый или правый). Нажимается кнопка «Извлечь» или «Поместить» в зависимости от текущей операции, и штабелер выполняет поставленную перед ним задачу.

Для обеспечения полного функционирования робота-штабелера кроме привода вертикального перемещения каретки и привода горизонтального перемещения штабелера, необходимо использовать приводы подъема/пускания промежуточной секции и выдвижения/втягивания грузовой платформы телескопического захвата.

Контролируемыми параметрами при работе робота-штабелера будут являться:

- три координаты всех ячеек (ряд, положение стеллажа, этаж);
- высота подъема промежуточной секции;

- высота опускания промежуточной секции;
- направление выдвижения грузовой платформы;
- амплитуда выдвижения грузовой платформы;
- амплитуда втягивания грузовой платформы;

Обобщая сформулированные данные можно построить структуру системы управления роботом-штабелером (рис.4.25).

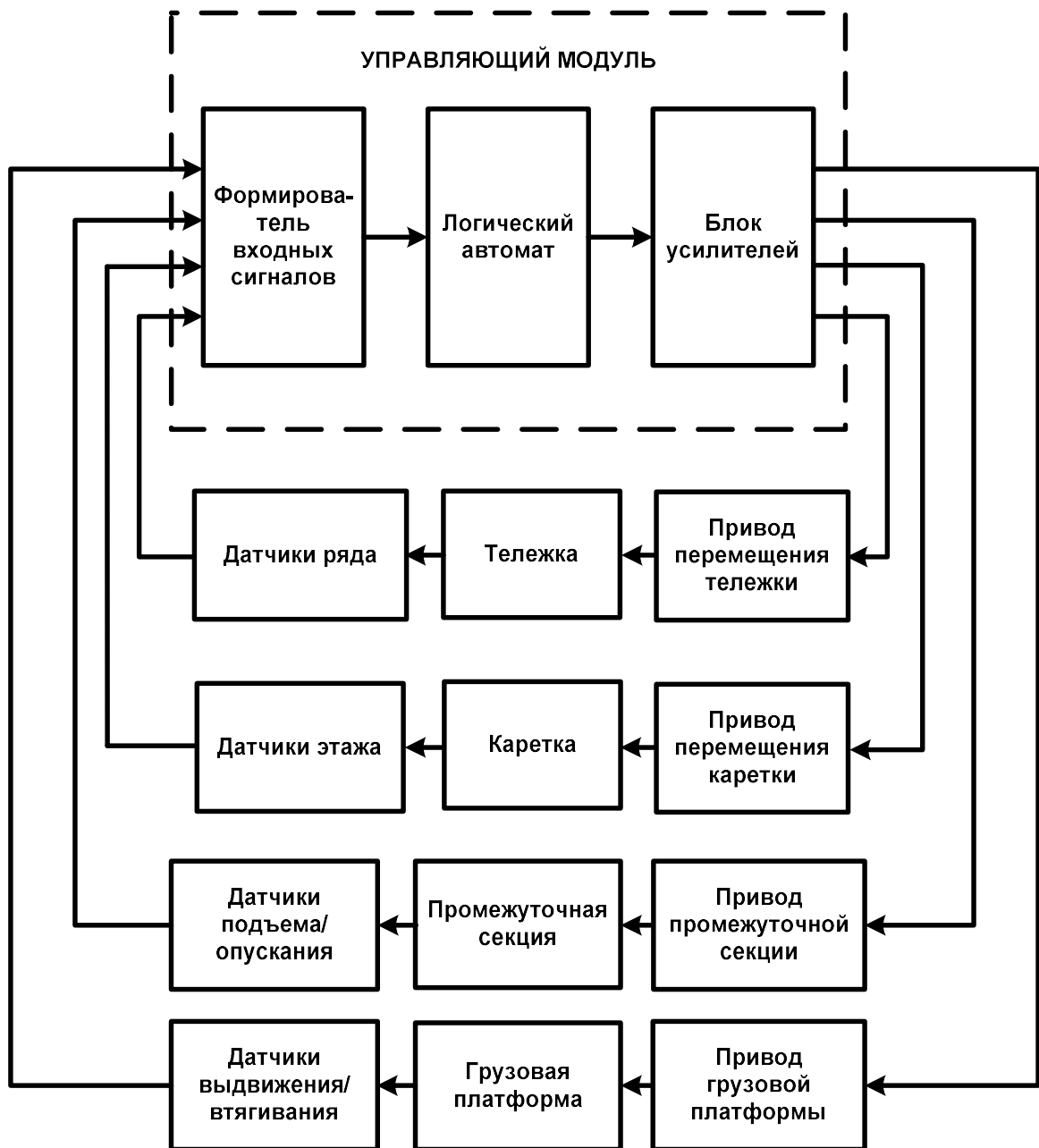


Рис.4.25. Функциональная схема робота-штабелера

Рассмотрим упрощенную конструкцию склада, имеющего один стеллаж, два ряда ячеек и два этажа.

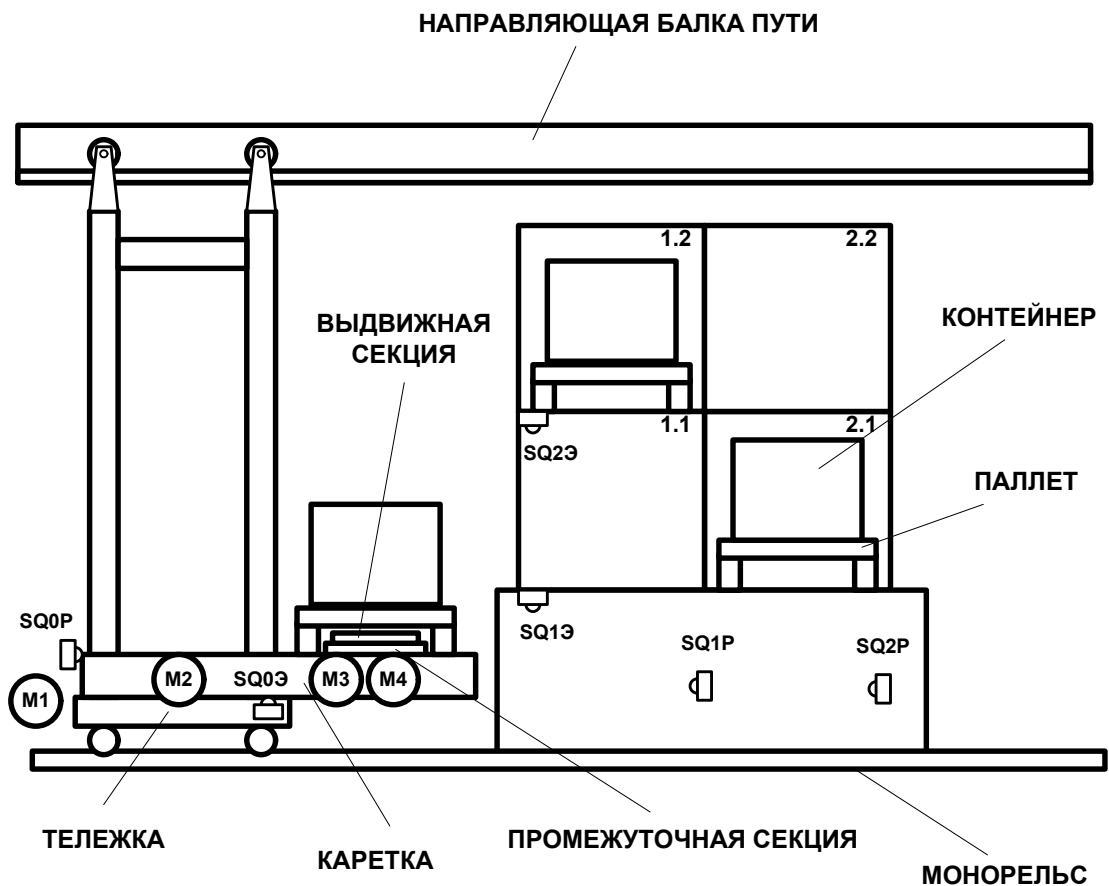


Рис.4.26. Схема склада в плоскости монорельс – направляющая балка

SQ<sub>i</sub>P – датчики рядов;

SQ<sub>i</sub>Э – датчики этажей;

M1 – привод горизонтального перемещения тележки;

M2 - привод вертикального перемещения каретки;

M3 - привод вертикального перемещения промежуточной секции;

M4 - привод поперечного перемещения выдвижной секции;

Для того, чтобы загрузить ячейку 1.1, сначала необходимо взять паллет с контейнером с приемного стола. Для этого следует при полностью опущенной каретке (SQ0Э) переместить тележку в исходное положение (SQ0P). После этого нужно подвести выдвижную секцию

под паллет (SQL), поднять промежуточную секцию (SQB) и втянуть выдвижную секцию (SQ0).

Далее необходимо переместить тележку до срабатывания SQ1P, затем поднять каретку до срабатывания SQ1Э. После этого выдвинуть выдвижную секцию до срабатывания SQL. После этого необходимо опустить промежуточную секцию до срабатывания SQH и втянуть выдвижную секцию до срабатывания SQ0. После этого следует опустить каретку до срабатывания SQ0Э и вернуть тележку в исходное положение SQ0P. Теперь штабелер готов к выполнению следующей программы.

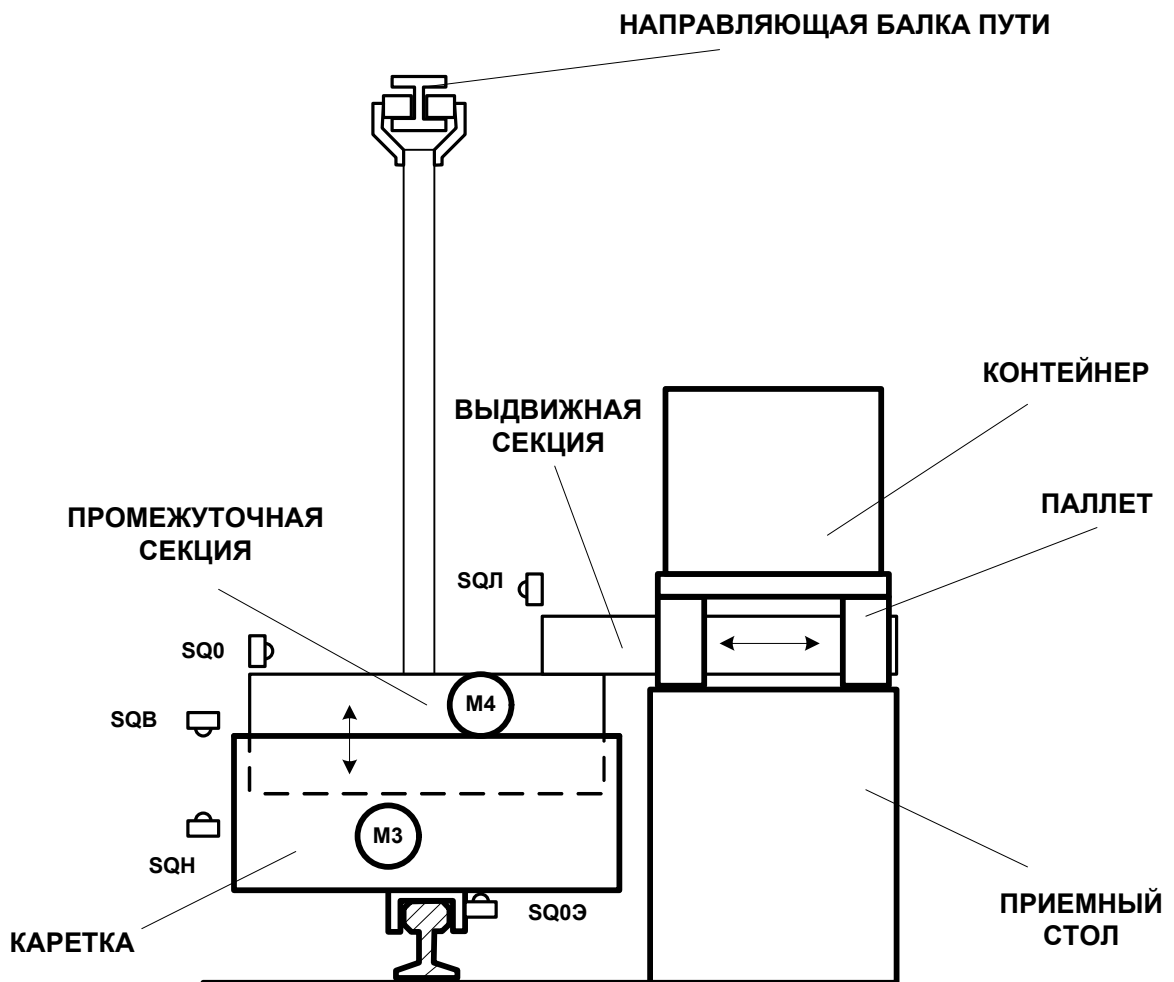


Рис.4.27. Каретка штабелера у приемного стола.

Для того, чтобы переместить паллет с контейнером из ячейки 1.2 на приемный стол, необходимо переместить тележку до срабаты-

вания SQ1P, затем поднять каретку до срабатывания SQ2Э. После этого следует выдвинуть выдвижную секцию до срабатывания SQL и поднять промежуточную секцию до срабатывания SQB. После этого необходимо втянуть выдвижную секцию до срабатывания SQ0. После этого следует опустить каретку до срабатывания SQ0Э и вернуть тележку в исходное положение SQ0P.

После этого нужно выдвинуть выдвижную секцию (SQL) и опустить промежуточную секцию (SQH). После этого необходимо втянуть выдвижную секцию (SQ0). Теперь штабелер вновь готов к выполнению следующей программы.

Загрузка и разгрузка остальных ячеек производится аналогично с учетом конкретных адресов выбранных ячеек.

Очевидно, что после начала выполнения очередной программы («Взять» или «Поставить») перепрограммирование не допустимо. Другими словами: ввод следующей программы может быть осуществлен только после завершения предыдущей программы, либо после ввода команды «Отмена».

Формализуем выполнение этого требования в виде блок-схемы алгоритма с учетом следующих условных обозначений.

- 1P=1 – команда «1 ряд»;
- 2p=1 - команда «2 ряд»;
- 1Э=1 – команда «1 этаж»;
- 2Э=1 – команда «2 этаж»;
- Отм=1 – команда сброса адресов;
- Вз=1 – команда «Взять контейнер из ячейки»;
- Ст=1 – команда «Поставить контейнер в ячейку»;
- PiP=1 – есть память i-го ряда;
- PiЭ=1 – есть память i-го этажа;
- Пвз=1 – есть память команды «Взять»;
- Пст=1 – есть память команды «Поставить»;
- PiP<sup>+</sup>=1 – запоминание команды i-го ряда;
- PiЭ<sup>+</sup>=1 – запоминание команды i-го этажа;
- Пвз<sup>+</sup>=1 – запоминание команды «Взять»;

$\text{Пст}^+ := 1$  – запоминание команды «Поставить»;

$\text{Пі}^- := 1$  – сброс всех устройств памяти;

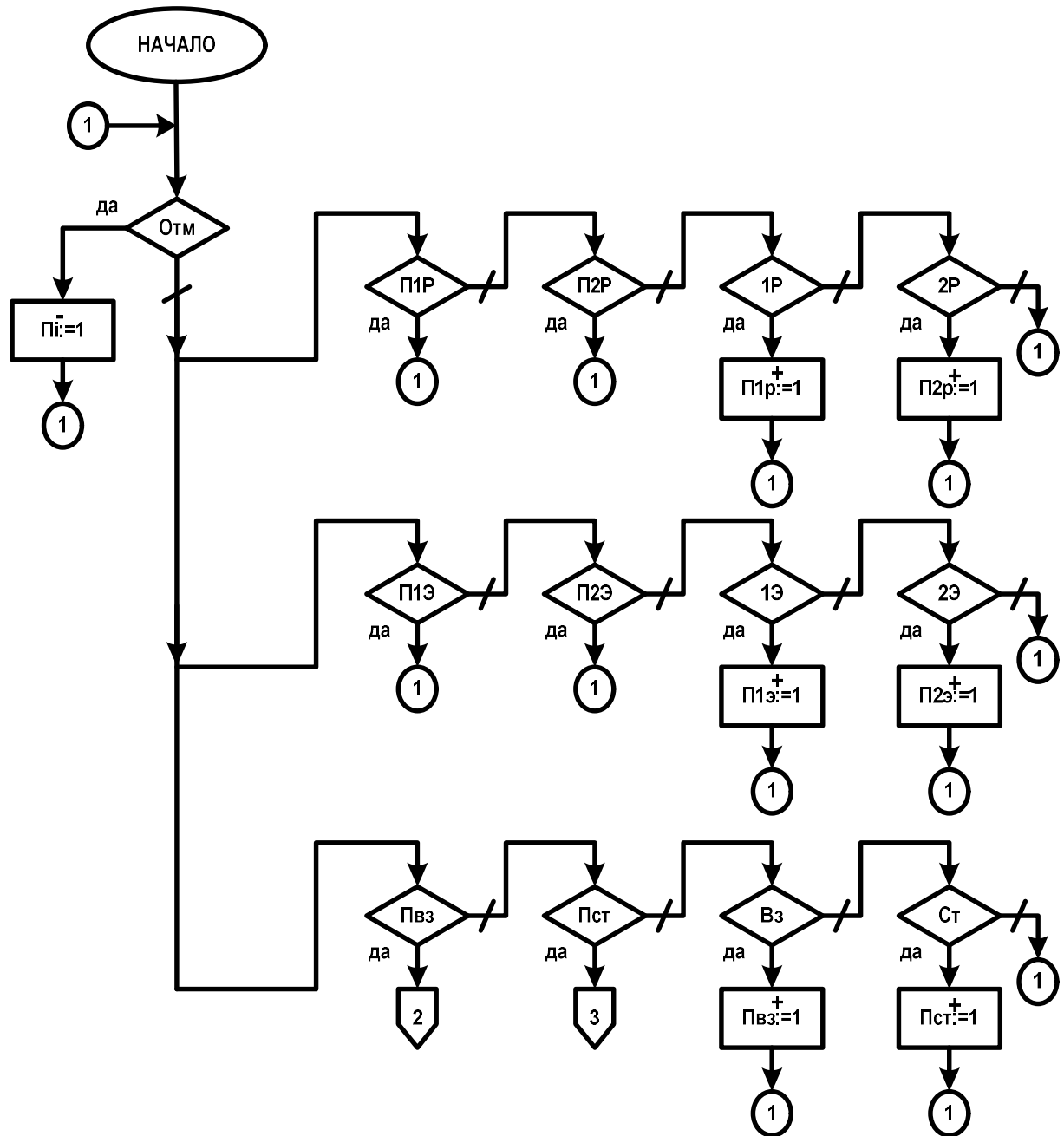


Рис.4.28. Блок-схема алгоритма программирования робота-штабелера

Далее рассмотрим логику программы «Взять» (адрес 2, рис.4.28).  
Для этого введем следующие условные обозначения.

SQ0P-1 – тележка находится у приемного стола;  
 SQ1P-1 – тележка находится в 1-м ряду;  
 SQ2P-1 – тележка находится во 2-м ряду;  
 SQ0Э-1 – каретка находится на 0-м этаже;  
 SQ1Э-1 – каретка находится на 1-м этаже;  
 SQ2Э-1 – каретка находится на 2-м этаже;  
 SQH-1 – промежуточная секция опущена;  
 SQB-1 – промежуточная секция поднята;  
 SQ0-1 – выдвижная секция втянута;  
 SQL-1 – выдвижная секция выдвинута;  
 M1п:=1 – включение привода тележки для движения к стелла-  
 жам;  
 M1л:=1 – включение привода тележки для движения к приемному  
 столу;  
 M2↑:=1 – включение привода каретки для подъема;  
 M2↓:=1 – включение привода каретки для опускания;  
 M3↑:=1 – включение привода промежуточной секции для подь-  
 ема;  
 M3↓:=1 – включение привода промежуточной секции для опуска-  
 ния;  
 →  
 M4:=1 – включение привода выдвижной секции на выдвижение;  
 ←  
 M4:=1 – включение привода выдвижной секции на втягивание;

Обобщая изложенные выше технологические требования, формализуем логические построения в виде блок-схемы управляющего алгоритма (рис.4.29).

Анализ разработанного алгоритма показывает противоречия при управлении приводами робота (выделено серым цветом), которые устраняются с помощью введения в систему дополнительных устройств памяти.

Π0P=1 – есть память перевода тележки к приемному столу;

ΠSQL=1 – есть память выдвижения выдвижной секции.

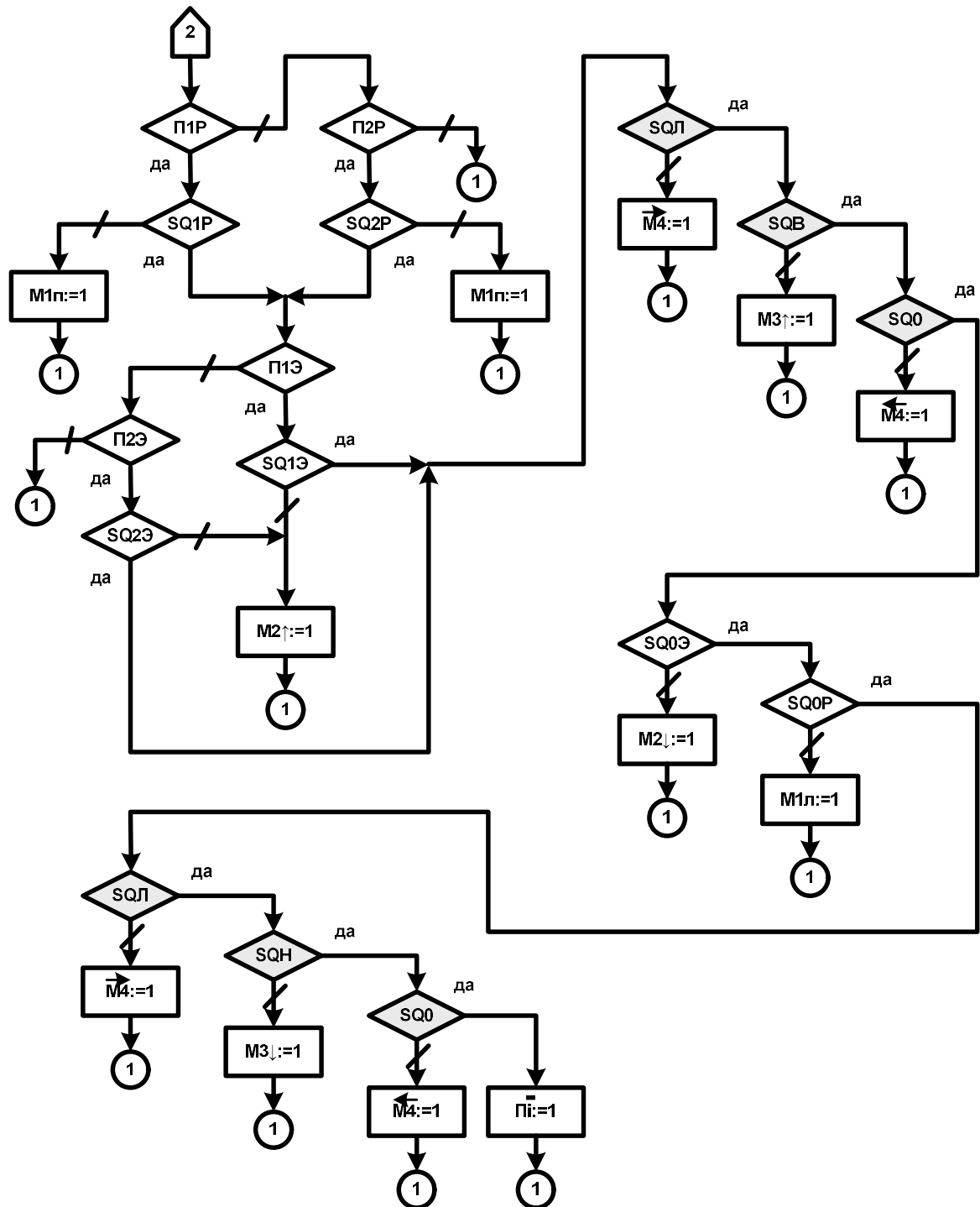


Рис.4.29. Алгоритм программы «Взять»

Дополнительными действиями будут операции по установке дополнительных устройств памяти.

$\Pi O P^{+}:=1$  – запоминание перевода тележки к приемному столу;

$\Pi S Q L^{+}:=1$  – запоминание выдвижения выдвижной секции.

Тогда уточненный алгоритм программы «Взять» принимает следующий вид (рис.4.30).

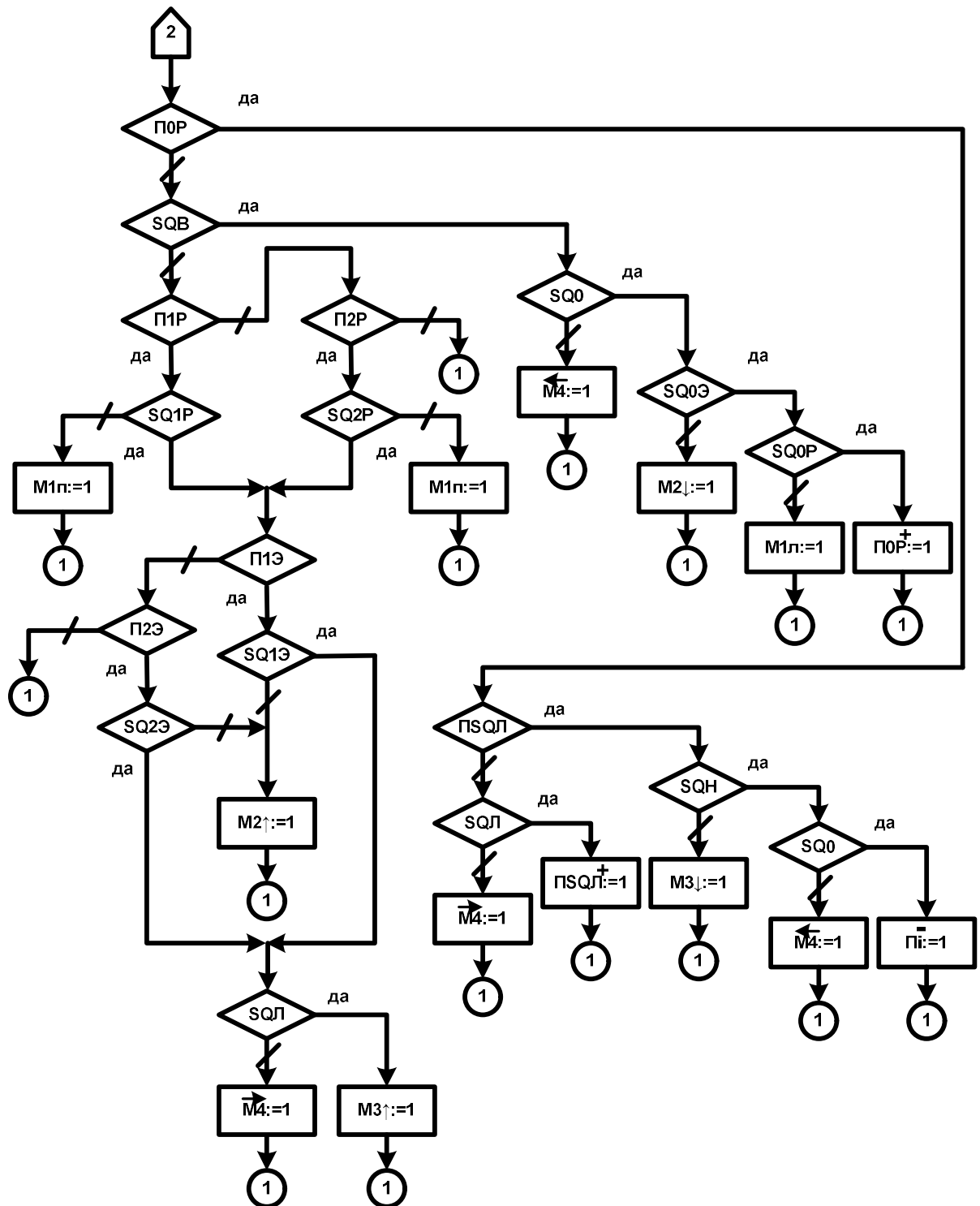


Рис.4.30. Уточненный алгоритм программы «Взять»

Теперь рассмотрим логику программы «Поставить» (адрес 3, рис.4.28).

Рис.4.31. Алгоритм «Поставить»

Разобьем блок-схему алгоритма (рис.4.31) на четыре основные блока.

- A – блок взятия контейнера с приемного стола;
- B – блок перемещения к выбранной ячейке стеллажа;
- C – блок установки контейнера в выбранную ячейку;
- D – блок возврата робота в исходное положение.

Введем дополнительные условные обозначения:

- $PSQL^+ := 1$  – запоминание выдвижения секции;
- $PSQB^+ := 1$  – запоминание подъема секции;
- $PSQ0^+ := 1$  – запоминание втягивания секции;
- $PSQH^+ := 1$  – запоминание опускания секции;
- $PSQL = 1$  – есть память выдвижения секции;
- $PSQB = 1$  – есть память подъема секции;
- $PSQ0 = 1$  – есть память втягивания секции;
- $PSQH = 1$  – есть память опускания секции;

Блокировки, выполненные с помощью триггеров в блоках A и C, обеспечивают устранение противоречий при реверсировании всех приводов робота-штабелера.

Схемотехническая реализация разработанного алгоритма может быть выполнена по аналогии с решениями, представленными в подразделах 4.4.1 и 4.4.2.

#### **4.4.4. Управление роботизированным измерителем выработки экскаватора**

Основные месторождения нефти и газа в России сосредоточены в приполярных и полярных областях азиатской части нашей страны.

Строительство магистральных трубопроводов на этих территориях может производиться только в зимний период, поскольку в иные сезоны тундра превращается в непроходимое болото.

Производство строительных работ в зимний период и, в особенности, в условия полярной ночи, характеризуется низкими (до -50 град.) температурами и интенсивными снежными осадками. В этих условиях наиболее рациональным является доставка на место укладки точного количества труб, общая длина которых не должна превышать длины построенной траншеи.

Ручное измерение длины построенной траншеи практически невозможно. Также невозможно использование «пятого колеса» или ведомого колеса гусеницы экскаватора. Применение навигационных систем типа GPS или ГЛОНАСС в условиях Крайнего Севера не обеспечивает достаточной точности измерения [2].

С учетом изложенных требований и ограничений на кафедре АПП МАДИ был разработан и запатентован «Роботизированный измеритель выработки одноковшового экскаватора» [7].

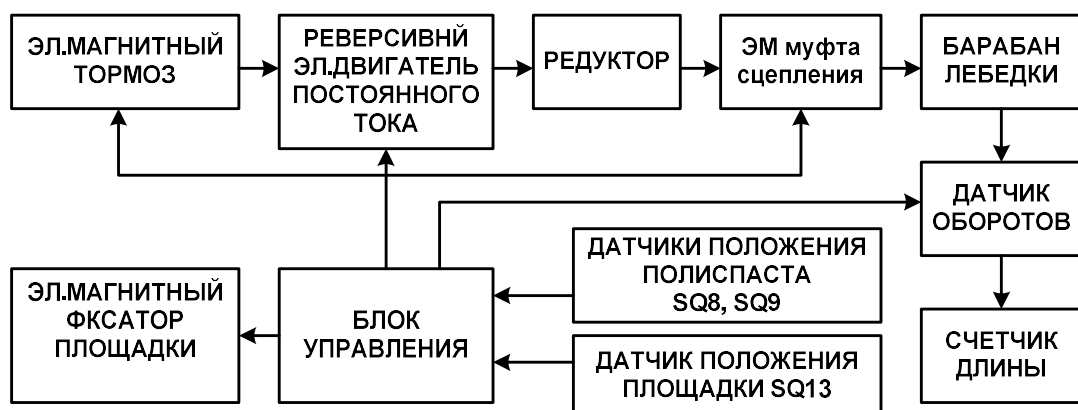
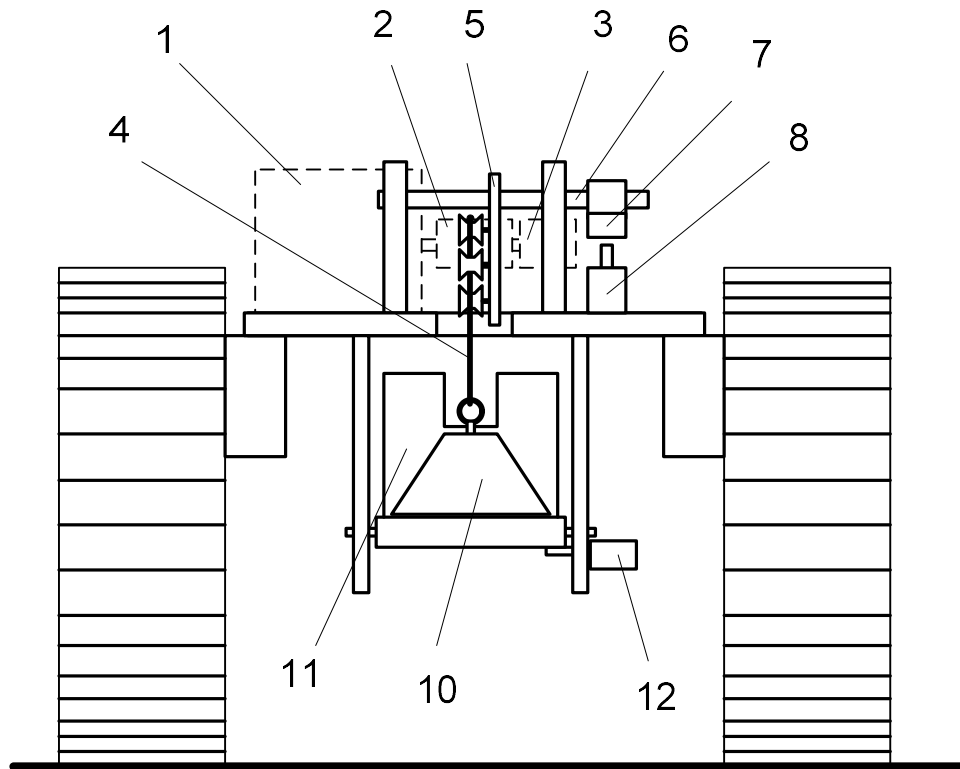


Рис.4.32. Функциональная схема измерителя

Измеритель размещен на ходовой раме экскаватора в ее передней части (рис.4.33).

Измеритель состоит из лебедки 1, на барабан 2 которой наматывается трос 4. Барабан 2 соединен с датчиком оборотов 3, который электрически подключен к счетчику длины.



*Рис.4.33. Установка роботизированного измерителя на экскаваторе*

Трос 4 огибает блоки полиспаста 5, закрепленного на оси 6, жестко соединенной с коромыслом 7, которое, при повороте полиспаста, взаимодействует с толкателями концевых выключателей 8 и 9.

Свободный конец троса 4 соединен с грузом 10, который в не рабочем состоянии расположен на опрокидывающейся площадке 11, удерживаемой в горизонтальном положении электромагнитным фиксатором 12 и взаимодействующей с концевым выключателем 13.

Измеритель работает следующим образом.

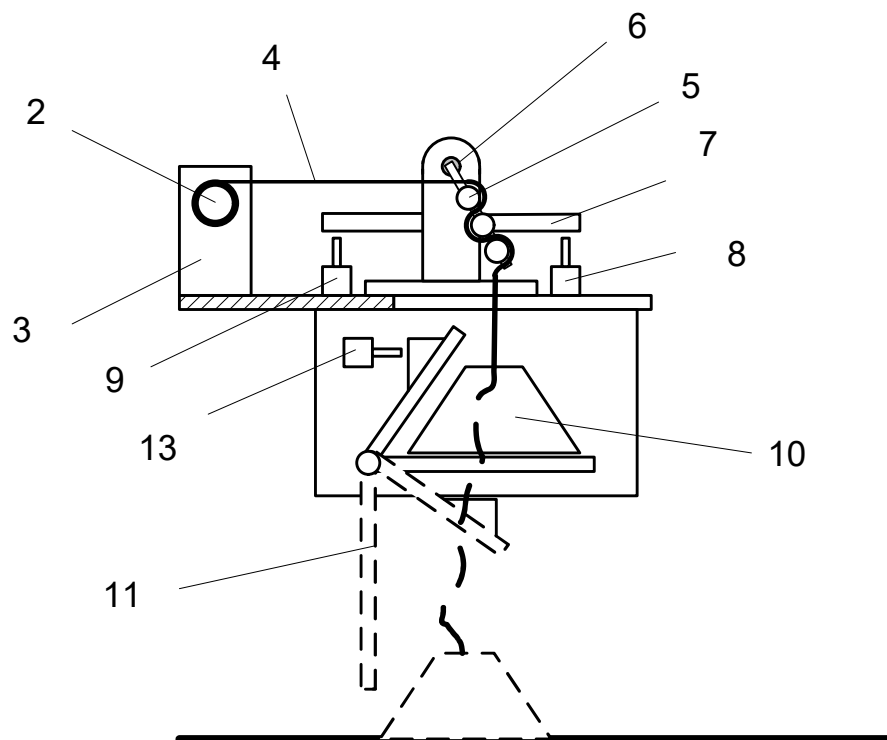
В исходном положении экскаватор ориентирован вдоль проектной оси траншеи.

Груз 10 установлен на опрокидывающейся площадке 11, трос 4 не натянут и полиспаст 5 устанавливается под углом к вертикали (рис.4.34).

При подаче команды «Сброс» лебедка 1 включается и трос 4 начинает наматываться на барабан 2. Груз 10 поднимается над площадкой 11 и под действием его веса полиспаст 5 поворачивается, устанавливаясь в вертикальном положении. При этом поворачивается

ось 6 и коромысло 7, в результате чего срабатывает концевой выключатель 8, включая электромагнит фиксатора 12, который в этот момент освобождает площадку 11, которая, в свою очередь, опрокидывается и своей задней стенкой ложится на груз 10. При дальнейшем подъеме груза 10 задняя стенка площадки 11 взаимодействует с концевым выключателем 13, что вызывает остановку привода барабана 2 и его реверсирование. При этом трос 4 начинает сматываться с барабана 2, а груз 10 ложится на грунт. При этом натяжение троса 4 ослабевает, коромысло 7 принимает нейтральное положение, после чего происходит остановка привода барабана 2, его **кратковременное торможение** и возврат фиксатора 12 в исходное положение («Выдвинуто»).

Далее экскаватор перемещается на новую рабочую стоянку по произвольной траектории, а в случае необходимости и возвратно-поступательно. При этом трос 4 свободно ложится на грунт.



*Рис.4.34. Измеритель длины. Вид сбоку.*

После окончания вывода машины на новую рабочую стоянку машинист подает команду «Счет». При этом трос 4 начинает наматыв-

ваться на барабан 2. После выбора слабины троса 4 полиспаст 5 поворачивается в сторону груза 10 и при срабатывании концевого выключателя 9 датчик 3 подключается к счетчику длины. Команда на продолжение счета остается до полного подъема груза 10.

Дальнейшее наматывание троса 4 на барабан 2 вызывает подтягивание груза 10 и его вывешивание на тросе 4. При этом полиспаст вновь поворачивается до вертикального положения, вызывая срабатывание концевого выключателя 8 и включение электромагнита фиксатора 12 площадки 11.

Груз продолжает подниматься до срабатывания концевого выключателя 13. При этом фиксатор возвращается в исходное положение, а привод лебедки вновь реверсируется. После установки груза 4 на площадку 11 натяжение троса ослабевает, концевой выключатель 8 отпускает, привод барабана 2 останавливается и **кратковременно притормаживается.**

**Кратковременное торможение барабана** производится путем **отключения электромагнита муфты сцепления с задержкой времени.**

На основании данного описания работы измерителя длины, а также на основании наблюдений за работой физической модели, студентам предлагается самостоятельно разработать блок-схему управляющего алгоритма и релейно-контактную схему управляющей системы.

Введем условные обозначения:

Сброс = 1 – нажата кнопка «Сброс».

$Псб^+ := 1$  – перевод системы в режим «Сброс».

$Псб = 1$  – система находится в режиме «Сброс».

$ЭМФ := 1$  – включение электромагнита фиксатора площадки.

Счет = 1 – нажата кнопка «Счет».

$Псч^+ := 1$  – перевод системы в режим «Счет».

$Псч = 1$  – система находится в режиме «Счет».

$SQ8 = 1$  – полиспаст находится в вертикальном положении.

$SQ9 = 1$  – слабина троса выбрана.

На основании разработанного алгоритма составим логические функции управления для всех выходных сигналов.

$$Псб^+ = Сброс \cdot \overline{Псч} \cdot \overline{Псб}$$

$$Псч^+ = Счет \cdot \overline{Псч} \cdot \overline{Псб}$$

$$ЭМФ = SQ8 \cdot Псб + SQ8 \cdot \overline{П_{SQ13}} \cdot Псч \cdot \overline{Псб}$$

$$П_{SQ13}^+ = SQ13 \cdot \overline{П_{SQ13}} \cdot Псб + SQ13 \cdot \overline{П_{SQ13}} \cdot Псч \cdot \overline{Псб}$$

$$Pi^- = \overline{SQ8} \cdot П_{SQ13} \cdot Псб + \overline{SQ8} \cdot П_{SQ13} \cdot Псч \cdot \overline{Псб}$$

$$П_{SQ9}^+ = SQ9 \cdot \overline{П_{SQ9}} \cdot Псч \cdot \overline{Псб}$$

$$П_{SQ9}^- = SQ8 \cdot П_{SQ13} \cdot Псч \cdot \overline{Псб}$$

$$Дд = П_{SQ9} \cdot Псч \cdot \overline{Псб}$$

$$Под = \overline{SQ13} \cdot \overline{П_{SQ13}} \cdot Псб + \overline{SQ13} \cdot \overline{П_{SQ13}} \cdot Псч \cdot \overline{Псб}$$

$$Оп = SQ8 \cdot П_{SQ13} \cdot Псб + SQ8 \cdot П_{SQ13} \cdot Псч \cdot \overline{Псб}$$

Для реализации логических функций потребуются 6 промежуточных реле:

- четыре реле для организации 4-х RS – триггеров;
- два реле для обеспечения сброса этих триггеров.

А также 5 выходных реле:

- два для включения электродвигателя на «Подъем» и «Опускание»;
- одно реле для подключения датчика длины к счетчику;
- одно реле для включения электромагнита фиксатора площадки;
- одно реле для включения/выключения электромагнита муфты сцепления.

Как упоминалось ранее, электромагнит муфты сцепления включается одновременно с включением электродвигателя при формировании сигнала «Подъем» или «Опускание». Однако для обеспечения кратковременного торможения муфта должна оставаться замкнутой некоторое время и после снятия указанных сигналов. Данное требование может быть выполнено путем параллельно подключения к реле муфты сцепления электролитического конденсатора.

С учетом перечисленных выше требований и ограничений электрическая принципиальная схема управления измерителем длины принимает следующий вид.

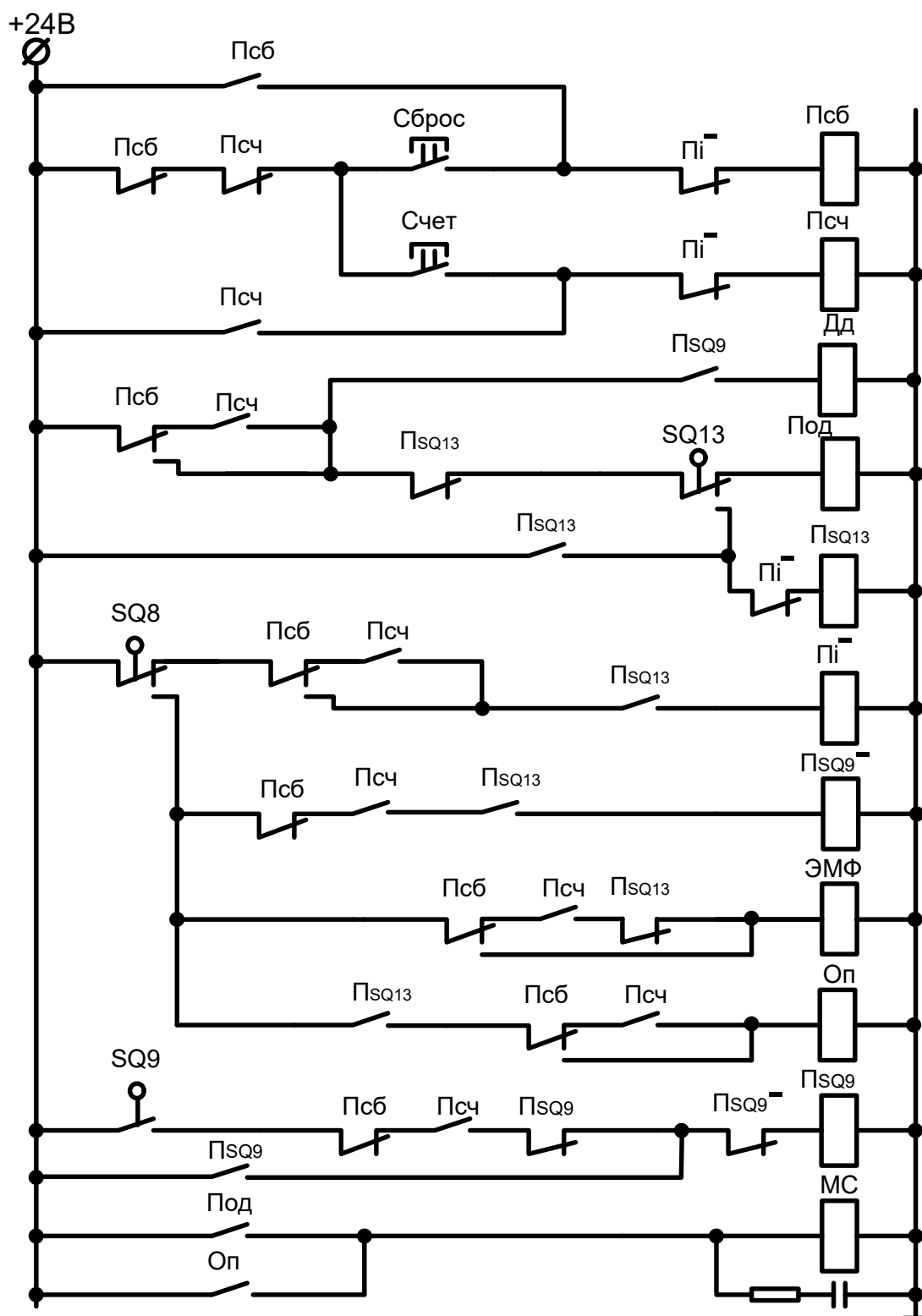


Рис.4.36. Принципиальная контактная схема управления измерителем длины

## ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьева, Т.В. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод: Учебник / Т.В.Артемьева, Т.М.Лысенко, А.Н.Румянцева, С.П.Степин. – М.: Академия, 2014. – 352 с.
2. Богданов, М.Р. Применения GPS/ГЛОНАСС: учеб. пособие/ М.Р. Богданов. - МО., ИД «Интеллект». 2012. – 136 с.
3. Булгаков А.Г., Воробьев В.А. и др. Автоматизация и роботизация строительства. М.:РИА. 2006, - 750 с. в 2-х томах.
4. Булгаков, А.Г. Автоматизация и роботизация строительных процессов и производств: монография Ч2 /А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев, С.И. Евтушенко и др.- М.: Изд-во Российской инженерной академии, 2006. – 430 с.
5. Сафонов, Ю.М. Электроприводы промышленных роботов: учебное пособие/ Ю.М. Сафонов. - М.: Энергоатомиздат, 1990 - 177 с.
6. Устройства управления роботами. Схемотехника и программирование. Предко М.(пер. с англ). ДМК Пресс. - 2005. - 404 с.
7. Устройство для измерения длины. А.С.СССР №970109, 1981
8. Шахворостов, С.А. Роботизация и дистанционное управление дорожно-строительными агрегатами: учеб. пособие/ С.А. Шахворостов. – М.,МАДИ. 1991,-84 с.
9. Шахворостов, С.А. Основы автоматизации: учебн. пособие/ С.А. Шахворостов. – М.: МАДИ, 2004. - 101 с.
10. Шахворостов, С.А.Технические средства автоматизации: учеб. пособие/ С.А. Шахворостов. – М.: МАДИ, 2011. - 109 с.
11. Юревич Е. И. Основы робототехники. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 416 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                          |   |
|------------------------------------------|---|
| ВВЕДЕНИЕ.....                            | 3 |
| 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РОБОТИЗАЦИИ.....  | 4 |
| 1.1. Основные понятия и определения..... | 4 |

|                                                                                     |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.2. Области применения промышленных роботов.....                                   | 7          |
| 2. УСТРОЙСТВО ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ.....                                             | 10         |
| 2.1. Состав, параметры и классификация роботов .....                                | 10         |
| 2.2. Манипуляционные устройства роботов .....                                       | 19         |
| 2.3. Рабочие органы манипуляторов.....                                              | 25         |
| 2.4. Устройства передвижения роботов.....                                           | 33         |
| 3. ПРИВОДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ.....                                                | 36         |
| 3.1. Классификация приводов промышленных роботов.....                               | 36         |
| 3.2. Пневматические приводы.....                                                    | 41         |
| 3.3. Гидравлические приводы.....                                                    | 44         |
| 3.4. Электрические приводы.....                                                     | 46         |
| 4. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ.....                                                 | 48         |
| 4.1. Системы программного управления.....                                           | 49         |
| 4.2. Системы позиционного и контурного<br>программного управления.....              | 56         |
| 4.3. Системы адаптивного управления.....                                            | 60         |
| 4.4. Примеры построения систем управления роботами.....                             | 69         |
| 4.4.1. Управление транспортной платформой как<br>средством передвижения робота..... | 69         |
| 4.4.2. Управление покрасочным манипулятором.....                                    | 77         |
| 4.4.3. Управление роботизированным штабелером<br>стеллажного склада.....            | 87         |
| 4.4.4. Управление роботизированным измерителем<br>выработки экскаватора.....        | 99         |
| <b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>                                                              | <b>107</b> |

**ШАХВОРОСТОВ Сергей Александрович**

**РОБОТЫ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Учебное пособие

Электронное издание сетевого распространения

Издательство «Научно-инновационный центр»  
660127, г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5, 192  
Тел. (391) 271-23-89

Дата издания: 06.06.2016.

the 1990s, the number of people in the world who are under 15 years of age has increased from 1.1 billion to 1.5 billion, and the number of people aged 65 and over has increased from 0.2 billion to 0.5 billion (United Nations, 2002).

There are a number of reasons why the world population is ageing. First, the number of people who are under 15 years of age has decreased from 1.1 billion in 1990 to 0.9 billion in 2000. This is due to a decline in the birth rate, which has been caused by a number of factors, including a decline in the number of children born to women, a decline in the number of children born to women who are under 15 years of age, and a decline in the number of children born to women who are over 35 years of age.

Second, the number of people who are 65 years of age and over has increased from 0.2 billion in 1990 to 0.5 billion in 2000. This is due to a decline in the death rate, which has been caused by a number of factors, including a decline in the number of people who die from infectious diseases, a decline in the number of people who die from non-infectious diseases, and a decline in the number of people who die from accidents.

Third, the number of people who are 65 years of age and over has increased from 0.2 billion in 1990 to 0.5 billion in 2000. This is due to a decline in the death rate, which has been caused by a number of factors, including a decline in the number of people who die from infectious diseases, a decline in the number of people who die from non-infectious diseases, and a decline in the number of people who die from accidents.

Fourth, the number of people who are 65 years of age and over has increased from 0.2 billion in 1990 to 0.5 billion in 2000. This is due to a decline in the death rate, which has been caused by a number of factors, including a decline in the number of people who die from infectious diseases, a decline in the number of people who die from non-infectious diseases, and a decline in the number of people who die from accidents.

Fifth, the number of people who are 65 years of age and over has increased from 0.2 billion in 1990 to 0.5 billion in 2000. This is due to a decline in the death rate, which has been caused by a number of factors, including a decline in the number of people who die from infectious diseases, a decline in the number of people who die from non-infectious diseases, and a decline in the number of people who die from accidents.

Sixth, the number of people who are 65 years of age and over has increased from 0.2 billion in 1990 to 0.5 billion in 2000. This is due to a decline in the death rate, which has been caused by a number of factors, including a decline in the number of people who die from infectious diseases, a decline in the number of people who die from non-infectious diseases, and a decline in the number of people who die from accidents.

Seventh, the number of people who are 65 years of age and over has increased from 0.2 billion in 1990 to 0.5 billion in 2000. This is due to a decline in the death rate, which has been caused by a number of factors, including a decline in the number of people who die from infectious diseases, a decline in the number of people who die from non-infectious diseases, and a decline in the number of people who die from accidents.

Eighth, the number of people who are 65 years of age and over has increased from 0.2 billion in 1990 to 0.5 billion in 2000. This is due to a decline in the death rate, which has been caused by a number of factors, including a decline in the number of people who die from infectious diseases, a decline in the number of people who die from non-infectious diseases, and a decline in the number of people who die from accidents.