


ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ  
ОБРАЗОВАНИЕ

М. Ю. Рачков

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Учебник  
2-е издание



 **Юрайт**  
ПЕДАГОГИКА

**М. Ю. Рачков**

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

**УЧЕБНИК ДЛЯ СПО**

2-е издание, исправленное и дополненное

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом среднего профессионального образования в качестве учебника для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования*



Курс с практическими заданиями и дополнительными материалами доступен на образовательной платформе «Юрайт», а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»

**Москва • Юрайт • 2024**



УДК 681.522(075.32)

ББК 30.604-5-05я723

P27

**Автор:**

**Рачков Михаил Юрьевич** — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации и управления в технических системах факультета информатики и систем управления Московского политехнического университета.

**Рецензенты:**

*Назаров Ю. Ф.* — доктор технических наук, профессор;

*Градецкий В. Г.* — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации.

**Рачков, М. Ю.**

P27 Автоматизация производства : учебник для среднего профессионального образования / М. Ю. Рачков. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 182 с. — (Профессиональное образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-12973-1

В учебнике рассмотрены классификация технических средств автоматизации, методы выбора технических средств по типу производства, а также системы управления оборудованием. Приводится описание станков и систем ЧПУ, промышленных роботов и робототехнических систем, систем автоматического контроля, автоматические транспортные системы и автоматизированные складские системы, а также примеры автоматизации технологических процессов. Рассмотрены средства автоматизации работ в экстремальных условиях, противопожарных операций, работ на высотных конструкциях, подводных работ и операций разминирования. Основной материал дополнен списком литературы, а также контрольными вопросами в конце каждой главы.

Соответствует актуальным требованиям федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным требованиям.

Учебник предназначен студентам среднего профессионального образования, преподавателям, а также всем интересующимся.

УДК 681.522(075.32)

ББК 30.604-5-05я723

*Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.*

ISBN 978-5-534-12973-1

© Рачков М. Ю., 2006

© Рачков М. Ю., 2018, с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2024

# Содержание

Предисловие .....	5
Введение.....	7
<b>1. Состав технических средств автоматизации.....</b>	<b>11</b>
1.1. Классификация технических средств автоматизации .....	11
1.2. Выбор технических средств автоматизации по типу производства.....	18
1.3. Системы управления оборудованием.....	20
<i>Контрольные вопросы</i> .....	31
<b>2. Технические средства автоматизации промышленных производств .....</b>	<b>33</b>
2.1. Станки и системы числового программного управления.....	33
2.2. Промышленные роботы и робототехнические системы .....	48
2.3. Системы автоматического контроля .....	69
2.4. Автоматические транспортные системы.....	83
2.5. Автоматизированные складские системы.....	95
2.6. Примеры автоматизации технологических процессов.....	102
<i>Контрольные вопросы</i> .....	120
<b>3. Технические средства автоматизации работ в экстремальных условиях.....</b>	<b>121</b>
3.1. Работы на атомных станциях.....	121
3.2. Противопожарные операции.....	129
3.3. Работы на высотных конструкциях .....	132
3.4. Подводные работы .....	143
3.5. Операции разминирования .....	154
<i>Контрольные вопросы</i> .....	177
<b>Заключение.....</b>	<b>178</b>
<b>Литература .....</b>	<b>181</b>
<b>Новые издания по дисциплине «Технические средства автоматизации» и смежным дисциплинам .....</b>	<b>182</b>

## Предисловие

Учебник написан в соответствии с программами подготовки специалистов, включающими изучение технических средств автоматизации. Книга содержит описание технических средств автоматизации как промышленных производств, так и работ в экстремальных условиях.

В результате изучения дисциплины студент должен освоить:  
**трудовые действия**

- владение навыками выбора станков и систем числового программного управления (ЧПУ);
- навыками проектирования автоматических транспортных систем;
- навыками составления схем автоматизированных складских систем;

**необходимые умения**

- выбирать технические средства автоматизации в соответствии с типом производства;
- составлять схемы гибких производственных модулей;
- выбирать технические средства для автоматизации работ в экстремальных условиях;

**необходимые знания**

- классификации технических средств автоматизации;
- систем управления автоматическим оборудованием;
- средств автоматизации промышленных производств и работ в экстремальных условиях.

Учебник состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Во введении описана история развития средств автоматизации и даны основные понятия в этой области.

В первой главе рассмотрены классификация технических средств автоматизации, методы выбора технических средств по типу производства, а также системы управления оборудованием.

Во второй главе приводится описание станков и систем ЧПУ, промышленных роботов и робототехнических систем, систем

автоматического контроля, автоматические транспортные системы и автоматизированные складские системы, а также примеры автоматизации технологических процессов.

Третья глава посвящена средствам автоматизации работ в экстремальных условиях, противопожарных операций, работ на высотных конструкциях, подводных работ и операций разминирования.

В заключении анализируются перспективы развития технических средств автоматизации. Для самостоятельной проверки студентами усвоения материала в конце каждой главы приводятся контрольные вопросы.

## Введение

Технические средства автоматизации позволяют создать на своей базе системы, выполняющие в автоматическом режиме как технологические производственные операции, так и работы, проводимые в экстремальных условиях и опасные для человека. К последним относятся, например, работы на атомных станциях в условиях радиоактивности, тушение пожаров, работы на высотных конструкциях, на больших глубинах и разминирование.

Технические средства автоматизации производств включают в себя станки и системы ЧПУ, промышленные роботы, системы автоматического контроля, автоматические транспортные системы и автоматизированные складские системы.

Современное производство стремительно развивается в направлении автоматизации с широким использованием компьютерных технологий и робототехнических систем, позволяющих быстро перестраивать технологические процессы на изготовление новых изделий.

Начиная с 1980-х годов одним из направлений повышения эффективности производства стало широкое применение информационных технологий. Важным этапом их развития стало появление *гибкой производственной системы* (ГПС) как, управляемой средствами вычислительной техники, совокупности элементов технологического оборудования, включающей гибкие производственные модули в разных сочетаниях, автоматизированную систему технологической подготовки производства и системы обеспечения функционирования, обладающие свойством автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий. Использование гибких технологических модулей позволяет изготавливать детали в любом порядке и варьировать их выпуск в зависимости от производственной программы, сокращает затраты и время на подготовку производства, повышает коэффициент использования оборудования. С другой стороны, это изменяет характер



работы персонала, повышая удельный вес творческого и высококвалифицированного труда.

Принципиальной особенностью ГПС являлось наличие новой компоненты — компьютерной системы управления, обеспечивающей возможность увязки отдельных процессов, функций и задач в единую систему.

Дальнейшее развитие работ в данном направлении в конце 80-х годов привело к формированию *компьютеризированного интегрированного производства* (КИП). Концепция КИП подразумевает новый подход к организации и управлению производством, особенность которого заключалась не только в применении компьютерных технологий для автоматизации технологических процессов и операций, но в создании интегрированной информационной системы предприятия. Информационная интеграция процессов производства достигалась путем использования общих баз данных, позволяющих более эффективно решать вопросы разработки и проектирования изделий, подготовки производства, планирования и управления производством, материально-технического обеспечения, охватывая все процессы предприятия.

В концепции КИП роль *интегрированной автоматизированной системы управления* (ИАСУ) стала еще более значительной. На ИАСУ выполняют не только функции автоматизации процессов проектирования и производства изделий, но и совершенно новые задачи, связанные с обеспечением информационной интеграции процессов. Эта интеграция должна была осуществляться за счет совместного использования одной и той же информации в электронном виде для решения разных задач.

Практика показала, что из всех задач ИАСУ наиболее типизируемыми оказались задачи автоматизации проектирования и подготовки производства, а также задачи уровня управления предприятием (АСУП). В начале 1990-х годов на рынке появились самостоятельные программно-технические решения, пригодные для использования на предприятиях с различным уровнем автоматизации, в том числе и вне КИП в его классическом понимании. Возникли новые устойчивые понятия: CAD/CAM/CAE и MRP (MRP II).

Первое понятие — CAD (Computer Aided Design)/CAM (Computer Aided Manufacturing)/CAE (Computer Aided Engineering) — обозначает комплекс программных средств компьютерного

проектирования, подготовки производства и инженерных расчетов. Второе понятие — *MRP* (Materials Requirement Planning — планирование потребностей в материалах), а позднее *MRP II* (Manufacturing Resource Planning — управление производственными ресурсами). Оно стало общепринятым обозначением комплекса задач управления деятельностью предприятия: планирования производства, материально-технического снабжения, управления финансовыми ресурсами и других.

К середине 1990-х годов появилась необходимость создания интегрированной информационной системы, поддерживающей весь жизненный цикл изделия. По определению стандарта ISO 9004—1 *жизненный цикл* (ЖЦ) продукции — это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукции.

Анализ развития информационных технологий в производственных задачах показывает, что одним из направлений движения является все более полный охват стадий жизненного цикла продукции. Гибкие производственные системы решали задачи, касающиеся исключительно производства изделий. В компьютеризированном интегрированном производстве круг задач значительно расширился и включил в себя разработку, проектирование и изготовление, материальнотехническое обеспечение и другие задачи предприятия.

*Система автоматизированного проектирования* (САПР) рассматривалась как единый комплекс аппаратно-программных, информационных и математических средств, обеспечивающих повышение качества и уменьшение сроков проектирования. К 1990-м годам была осуществлена достаточно полная компьютеризация отдельных этапов процесса проектирования и производства изделий промышленности.

Задача разработки САПР к началу нынешнего столетия трансформировалась в задачу создания *CALS* (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) — технологии обеспечения непрерывности поставок и жизненного цикла изделия. Русскоязычное наименование этой концепции и стратегии — *Информационная Поддержка жизненного цикла Изделий* (ИПИ).

Важнейшей особенностью *CALS*-технологий является не локальная, а интегрированная компьютеризация, обеспеченная единой информационной средой, основанной на электронном документообороте. *CALS*-технологии активно применяются,

прежде всего, при разработке и производстве сложной наукоемкой продукции.

Реализацию методов вычислительной механики в целях решения прикладных задач при разработке технических изделий на основе использования высокопроизводительной вычислительной техники обеспечивают компьютерные технологии инженерного анализа, которые являются частью единой информационной системы, реализующей CALS-технологии.

Новый класс систем управления производством — это системы класса MES (*Manufacturing Execution System*) или производственные исполнительные системы. Развернутым смысловым определением MES-систем, соответствующим отечественной практике, можно считать системы оперативного планирования, оптимизации и управления производственными процессами.

Технические средства автоматизации работ, опасных для человека, включают в первую очередь мобильные робототехнические системы с встроенными компьютерами и бортовым технологическим оборудованием. Эти системы, как правило, должны обладать искусственным интеллектом для самостоятельного принятия решений в зависимости от изменяющейся внешней ситуации и состояния их внутренних функциональных составляющих.

В учебнике отражены современный уровень развития средств автоматизации и тенденции их дальнейшего совершенствования.

Автор выражает признательность рецензентам — заслуженному деятелю науки РФ, заведующему лабораторией робототехники и мехатроники Института проблем механики РАН, д. т. н., профессору В. Г. Градецкому, а также проректору по научной работе Московского государственного открытого университета, заведующему кафедрой «Технологии автоматизированного производства», д. т. н., профессору Ю. Ф. Назарову.

Излагая учебный материал, автор учитывал свой многолетний опыт по преподаванию предметов, связанных с техническими средствами автоматизации, в Московском государственном индустриальном университете.

Автор



# 1. СОСТАВ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

## 1.1. Классификация технических средств автоматизации

Технические средства автоматизации предназначены для создания систем, выполняющих заданные технологические операции, в которых человеку отводятся, в основном, функции контроля и управления.

По виду используемой энергии технические средства автоматизации классифицируются на электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные. Электронные средства автоматизации выделяют в отдельную группу, так как они, используя электрическую энергию, предназначены для выполнения специальных вычислительных и измерительных функций.

По функциональному назначению технические средства автоматизации можно подразделить в соответствии с типовой схемой системы автоматического регулирования на исполнительные механизмы, усилительные, корректирующие и измерительные устройства, преобразователи, вычислительные и интерфейсные устройства.

*Исполнительный элемент* — это устройство в системе автоматического регулирования или управления, воздействующее непосредственно или через согласующее устройство на регулируемый элемент или объект системы.

*Регулирующий элемент* осуществляет изменение режима функционирования управляемого объекта.

Электрический исполнительный элемент с механическим выходом — *электродвигатель* — применяется в качестве оконечного усилителя механической мощности. Эффект, оказываемый объектом или механической нагрузкой на исполнительный элемент, эквивалентен действию внутренних, или естественных, обратных связей. Такой подход используется

в тех случаях, когда необходим детальный структурный анализ свойств и динамических особенностей исполнительных элементов с учетом действия нагрузки. Электрический исполнительный элемент с механическим выходом является составной частью автоматического привода.

*Электрический привод* — это электрическое исполнительное устройство, преобразующее управляющий сигнал в механическое воздействие с одновременным усилением его по мощности за счет внешнего источника энергии. Привод не имеет специального звена главной обратной связи и представляет собой совокупность усилителя мощности, электрического исполнительного элемента, механической передачи, источника питания и вспомогательных элементов, объединенных определенными функциональными связями. Выходными величинами электрического привода являются линейная или угловая скорость, тяговое усилие или вращающий момент, механическая мощность и т. д. Электрический привод должен располагать соответствующим запасом по мощности, необходимым для воздействия на управляемый объект в форсированном режиме.

*Электрический сервомеханизм* представляет собой следящий привод, который отрабатывает входной управляющий сигнал с усилением его по мощности. Элементы электрического сервомеханизма охватываются специальными элементами обратной связи и могут иметь внутренние обратные связи за счет нагрузки.

*Механическая передача* электрического привода или сервомеханизма осуществляет согласование внутреннего механического сопротивления исполнительного элемента с механической нагрузкой — регулирующим органом или объектом управления. К механическим передачам относятся различные редукторы, кривошипно-шатунные, рычажные механизмы и другие кинематические элементы, в том числе передачи с гидравлическими, пневматическими и магнитными опорами.

Электрические *источники питания* исполнительных элементов, устройств и сервомеханизмов подразделяются на источники с практически бесконечной мощностью, со значением их внутреннего сопротивления, близким к нулю, и источники с ограниченной мощностью со значением внутреннего сопротивления, отличным от нуля.

Пневматические и гидравлические исполнительные устройства — это устройства, в которых в качестве энергоносителя используется соответственно газ и жидкость под определенным

давлением. Эти системы занимают прочное место среди других средств автоматизации благодаря своим преимуществам, к которым, в первую очередь, относятся надежность, устойчивость к механическим и электромагнитным воздействиям, высокий коэффициент отношения развиваемой мощности приводов к собственному весу и пожаровзрывобезопасность.

Основная задача исполнительного устройства состоит в том, чтобы усилить сигнал, поступающий на его вход, до уровня мощности, достаточного для того, чтобы оказать требуемое воздействие на объект в соответствии с поставленной целью управления.

Важным фактором при выборе исполнительного элемента является обеспечение заданных показателей качества системы при имеющихся энергетических ресурсах и допустимых перегрузках.

Характеристики исполнительного устройства должны определяться из анализа автоматизируемого процесса. Такого рода характеристиками исполнительных устройств и сервомеханизмов являются энергетические, статические, динамические характеристики, а также технико-экономические и эксплуатационные характеристики.

Обязательным требованием к исполнительному приводу является минимизация мощности двигателя при обеспечении требуемых значений скоростей и моментов. Это приводит к минимизации энергетических затрат. Весьма важными факторами при выборе исполнительного устройства или сервомеханизма являются ограничения по массе, габаритным размерам и надежности.

Важными составляющими систем автоматизации являются усилительные и корректирующие устройства. Общими задачами, решаемыми корректирующими и усилительными устройствами систем автоматики, являются формирование требуемых статической и частотной характеристик, синтез обратных связей, согласование с нагрузкой, обеспечение высокой надежности и унификация устройств.

*Усилительные устройства* усиливают по мощности сигнал до уровня, необходимого для управления исполнительным устройством.

Особые требования, предъявляемые к корректирующим элементам систем с переменными параметрами — возможность и простота перестройки структуры, программы и пара-

метров корректирующих элементов. Усилительные устройства должны удовлетворять определенным техническим условиям по удельной и максимальной выходной мощности.

По структуре усилительное устройство представляет собой, как правило, многокаскадный усилитель со сложными обратными связями, которые вводятся для улучшения его статических, динамических и эксплуатационных характеристик.

Усилительные устройства, применяемые в системах автоматизации, можно подразделить на две группы:

- 1) электрические усилители, имеющие электрические источники питания;
- 2) гидравлические и пневматические усилители, использующие в качестве основного энергоносителя соответственно жидкость или газ.

Источник питания или энергоноситель определяет наиболее существенные особенности усилительных устройств автоматизации: статические и динамические характеристики, удельную и максимальную мощность, надежность, эксплуатационные и технико-экономические показатели.

К электрическим усилителям относятся электронные вакуумные, ионные, полупроводниковые, диэлектрические, магнитные, магнитно-полупроводниковые, электромашинные и электромеханические усилители.

Квантовые усилители и генераторы составляют особую подгруппу устройств, используемых в качестве усилителей и преобразователей слабых радиотехнических и других сигналов.

*Корректирующие устройства* формируют сигналы коррекции статических и динамических характеристик системы.

В зависимости от вида включения в систему линейные корректирующие устройства подразделяются на три типа: последовательные, параллельные корректирующие элементы и корректирующие обратные связи. Использование того или иного типа корректирующих устройств определяется удобством технической реализации и эксплуатационными требованиями.

Корректирующие элементы последовательного типа целесообразно применять, если сигнал, величина которого функционально связана с сигналом ошибки, является смодулированным электрическим сигналом. Синтез последовательного корректирующего устройства в процессе проектирования системы управления наиболее прост.



Корректирующие элементы параллельного типа удобно использовать при формировании сложного закона регулирования с введением интеграла и производных от сигнала ошибки.

Корректирующие обратные связи, охватывающие усиленные или исполнительные устройства, находят наиболее широкое применение благодаря простоте технической реализации. В этом случае на вход элемента обратной связи поступает сигнал сравнительно высокого уровня, например, с выходного каскада усилителя или двигателя. Использование корректирующей обратной связи позволяет уменьшать влияние нелинейностей тех устройств системы, которые ими охватываются, следовательно, в ряде случаев удастся улучшить качество процесса регулирования. Корректирующая обратная связь стабилизирует статические коэффициенты охватываемых устройств в условиях действия помех.

В системах автоматического регулирования и управления используются электрические, электромеханические, гидравлические и пневматические корректирующие элементы и устройства. Наиболее просто электрические корректирующие устройства реализуются на пассивных четырехполюсниках, которые состоят из резисторов, конденсаторов и индуктивностей. Сложные электрические корректирующие устройства включают также разделительные и согласующие электронные элементы.

В электромеханические корректирующие устройства, кроме пассивных четырехполюсников, входят тахогенераторы, импеллеры, дифференцирующие и интегрирующие гироскопы. В ряде случаев электромеханическое корректирующее устройство может быть реализовано в виде мостовой схемы, в одну из плеч которой включен электрический двигатель исполнительного устройства.

Гидравлические и пневматические корректирующие устройства могут состоять из специальных гидравлических и пневматических фильтров, включаемых в обратные связи основных элементов системы, или в виде гибких обратных связей по давлению (перепаду давлений), расходу рабочей жидкости, воздуха.

Корректирующие элементы с перестраиваемыми параметрами обеспечивают адаптивность систем. Реализация таких элементов осуществляется с помощью релейных и дискретных устройств, а также ЭВМ. Подобные элементы принято относить к логическим корректирующим элементам.

ЭВМ, функционирующая в реальном масштабе времени в замкнутом контуре управления, имеет практически неограниченные вычислительные и логические возможности. Основной функцией управляющей ЭВМ является вычисление оптимальных управлений и законов, оптимизирующих поведение системы в соответствии с тем или иным критерием качества в процессе ее нормальной эксплуатации. Высокое быстродействие управляющей ЭВМ позволяет, наряду с основной функцией, выполнять целый ряд вспомогательных задач, например, с реализацией сложного линейного или нелинейного цифрового корректирующего фильтра.

При отсутствии ЭВМ в системах наиболее целесообразно применять нелинейные корректирующие устройства как обладающие наибольшими функциональными и логическими возможностями.

*Регулирующие устройства* представляют собой сочетание исполнительных механизмов, усилительных и корректирующих устройств, преобразователей, а также вычислительных и интерфейсных блоков.

Информация о параметрах объекта управления и о возможных внешних воздействиях, оказывающих на него влияние, поступает на регулирующее устройство от измерительного устройства. *Измерительные устройства* в общем случае состоят из чувствительных элементов, воспринимающих изменения параметров, по которым производится регулирование или управление процессом, а также из дополнительных преобразователей, часто выполняющих функции усиления сигналов. Вместе с чувствительными элементами эти преобразователи предназначены для преобразования сигналов одной физической природы в другую, соответствующую виду энергии, используемой в системе автоматического регулирования или управления.

В автоматике *преобразующими устройствами* или *преобразователями* называют такие элементы, которые непосредственно не выполняют функций измерения регулируемых параметров, усиления сигналов или коррекции свойств системы в целом и не оказывают прямого воздействия на регулируемый орган или управляемый объект. Преобразующие устройства в этом смысле являются промежуточными и выполняют вспомогательные функции, связанные с эквивалентным преобразованием величины одной физической природы в форму,

более удобную для формирования регулирующего воздействия или с целью согласования устройств, различающихся по виду энергии на выходе одного и входе другого устройства.

Вычислительные устройства средств автоматизации, как правило, строятся на базе микропроцессорных средств.

*Микропроцессор* — программно управляемое средство, осуществляющее процесс обработки цифровой информации и управления им, построенное на одной или нескольких интегральных микросхемах.

Основными техническими параметрами микропроцессоров являются разрядность, емкость адресуемой памяти, универсальность, число внутренних регистров, наличие микропрограммного управления, число уровней прерывания, тип стековой памяти и число основных регистров, а также состав программного обеспечения. По разрядности микропроцессоры подразделяются на микропроцессоры с фиксированной разрядностью и модульные микропроцессоры с изменяемой разрядностью слова.

*Микропроцессорными средствами* называются конструктивно и функционально законченные изделия вычислительной и управляющей техники, построенные в виде или на основе микропроцессорных интегральных микросхем, которые с точки зрения требований к испытаниям, приемке и поставке рассматриваются как единое целое и применяются при построении более сложных микропроцессорных средств или микропроцессорных систем.

Конструктивно микропроцессорные средства выполняются в виде микросхемы, одноплатного изделия, моноблока или типового комплекса, причем изделия нижнего уровня конструктивной иерархии могут использоваться в изделиях высшего уровня.

*Микропроцессорные системы* — это вычислительные или управляющие системы, построенные на основе микропроцессорных средств, которые могут применяться автономно или встраиваться в управляемый объект. Конструктивно микропроцессорные системы выполняются в виде микросхемы, одноплатного изделия, моноблока комплекса или нескольких изделий указанных типов, встроенных в аппаратуру управляемого объекта или выполненных автономно.

По области применения технические средства автоматизации можно подразделить на технические средства автомати-



зации работ на промышленных производствах и технические средства автоматизации других работ, важнейшим составляющим которых являются работы в экстремальных условиях, где присутствие человека опасно для жизни или невозможно. В последнем случае автоматизация осуществляется на базе специальных стационарных и мобильных роботов.

## **1.2. Выбор технических средств автоматизации по типу производства**

Все многообразие существующих производств можно подразделить на несколько типов. Под *типом производства* понимают классификационную категорию производства, выделяемую по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции. В соответствии с этим различают единичное, серийное и массовое производства.

Одной из основных характеристик типа производства является *коэффициент закрепления операций*, определяемый отношением числа всех технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест.

*Единичное производство* характеризуется малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, не предусматриваются.

*Серийное производство* характеризуется изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. В зависимости от количества изделий в партии или в серии различают мелкосерийное (коэффициент закрепления операций 21—40), среднесерийное (коэффициент закрепления операций 11—20) и крупносерийное (коэффициент закрепления операций 1—10) производства.

*Массовое производство* характеризуется большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция. Коэффициент закрепления операций для массового производства принимают равным единице.

Следует отличать тип производства от вида производства. Под *видом производства* понимают классификационную кате-



горию производства, выделяемую по признаку применяемого метода изготовления изделия. Примерами видов производства являются литейное, сварочное и т. д.

*Производственный процесс* — это совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления и ремонта продукции.

*Технологический процесс* — это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части или к методам обработки, формообразования и сборки. К предметам труда относятся заготовки и изделия.

*Технологическая операция* — это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Под *изделием* понимается комбинация материалов, предметов, программных и иных компонентов, готовых к использованию по назначению.

Форма организации технологических процессов изготовления изделия зависит от установленного порядка выполнения операций технологического процесса, расположения технологического оборудования, количества изделий и направления их движения в процессе изготовления. Существуют две формы организации технологических процессов: групповая и поточная.

Групповая форма организации технологических процессов характеризуется однородностью конструктивно-технологических признаков изделий, единством средств технологического оснащения одной или нескольких технологических операций и специализацией рабочих мест.

Поточная форма организации технологических процессов характеризуется специализацией каждого рабочего места на определенной операции, согласованным и ритмичным выполнением всех технологических операций на основе постоянного такта выпуска, а также размещением рабочих мест в последовательности, строго соответствующей технологическому процессу.

Массовое и крупносерийное производства предполагают применение высокопроизводительного специального основного технологического оборудования, объединенного автоматическими транспортно-загрузочными механизмами периодического действия, что в комплексе представляет собой

автоматические линии. Возрастающие темпы технического прогресса требуют в массовом производстве сравнительно частого изменения конструкций и свойств выпускаемых изделий, что вызывает необходимость в переналадке или изменении структуры автоматической линии. Таким образом, гибкость в данном случае заключается в обеспечении возможности нетрудоемкого перехода от обработки одной детали к обработке другой подобной детали.

Среднесерийное многономенклатурное производство характеризуется частой сменой выпускаемых изделий, а также небольшой длительностью выпуска деталей одного типа. Комплексная автоматизация такого производства наиболее эффективно может быть осуществлена на основе создания гибких производственных комплексов, базирующихся на методах групповой технологии.

В мелкосерийном и единичном производствах для обработки большой номенклатуры часто сменяемых деталей целесообразно использовать автономные производственные ячейки — гибкие производственные модули, позволяющие повысить рентабельность этих производств.

Таким образом, в зависимости от номенклатуры и объема выпуска изделий степень рациональности использования определенного технологического оборудования различна.

Соответствующие области применения различного оборудования в смысле гибкости и производительности в зависимости от числа деталей одного наименования, выпускаемых за год ( $N$ ), и числа разных наименований ( $M$ ) показаны на рис. 1.1.

Использование *гибких автоматизированных производств* (ГАП) позволяет значительно снизить стоимость продукции в условиях среднесерийного, мелкосерийного и единичного типов производства.

### **1.3. Системы управления оборудованием**

*Системы управления оборудованием* предназначены для организации работы отдельных типов оборудования исполнительной системы, а также для согласования их совместного функционирования.

Управление базируется на использовании модульного принципа. Основные модули представляют собой оборудование

с программным управлением. Функционально модуль с программным управлением подразделяется на *управляющий автомат* и объект управления. В управляющий автомат загружается программа, которую он преобразует в последовательность управляющих воздействий, передаваемых по каналам связи. Объект управления, которым может быть, например, станок, отрабатывает управляющие воздействия, выполняя соответствующие рабочие операции.

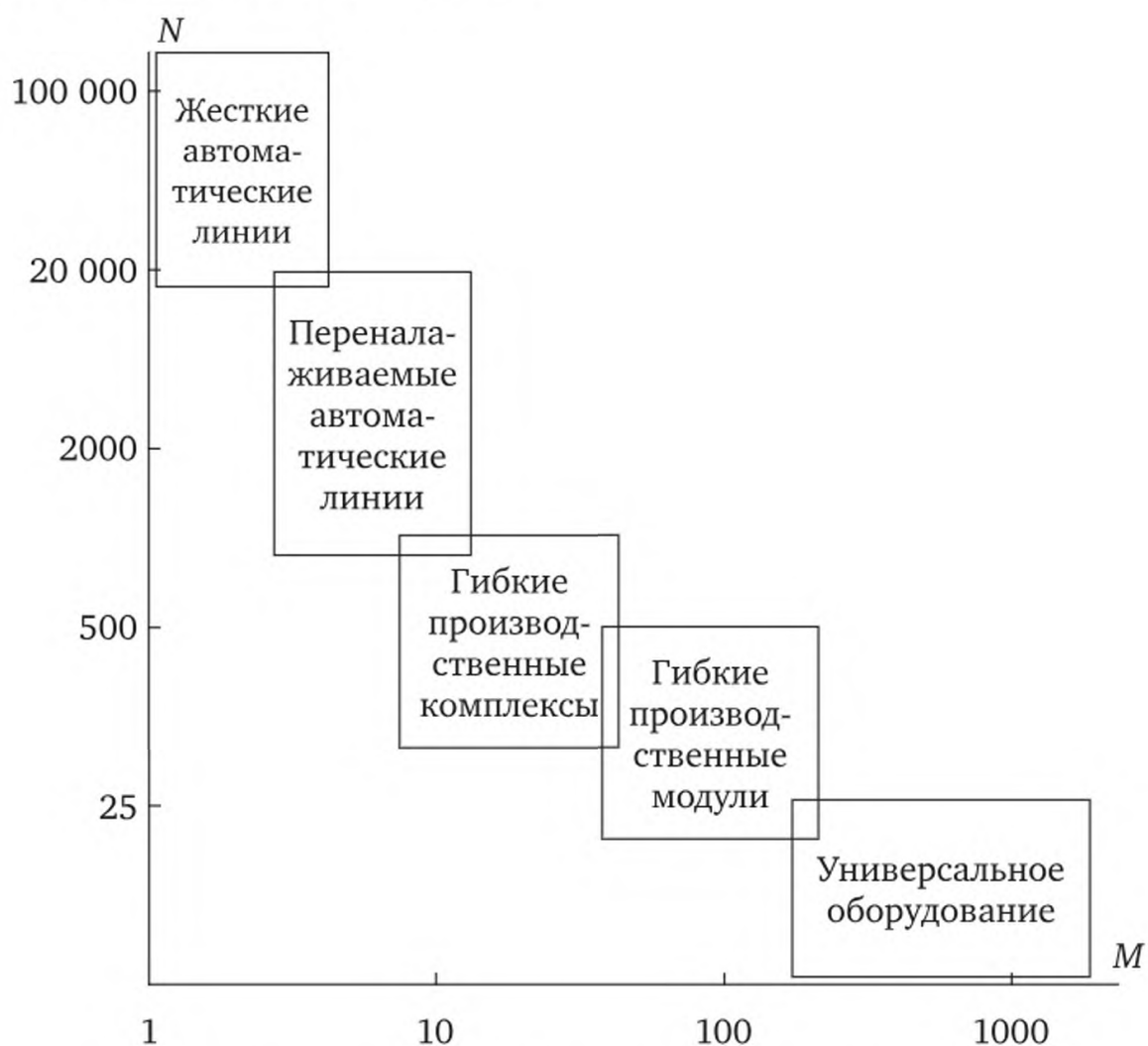


Рис. 1.1. Области применения различного оборудования по гибкости и производительности

Текущее состояние объекта управления характеризуется величинами сигналов обратной связи, формируемыми датчиками и подводимыми в управляющий автомат. За счет наличия обратной связи управляющий автомат может формировать или корректировать последовательность действий в соответствии с текущим состоянием объекта управления. Например, может быть разрешено выполнение очередной рабочей операции по-

сле получения сигнала с датчика о завершении предыдущей операции или выбрана соответствующая ветвь программы после поступления с датчика сигнала о необходимости изменения последовательности действий по результатам контроля объекта обработки.

Для взаимодействия с другими модулями в управляющем автомате формируется информация, отражающая такие характеристики состояния модуля, как моменты окончания отдельных фаз технологического процесса, завершение выполнения программы или наличие особых ситуаций, возникающих в процессе функционирования модуля.

Программное управление модулем обеспечивает, во-первых, его автоматическое функционирование в соответствии с заданной программой и, во-вторых, возможность изменения процесса функционирования путем загрузки в модуль другой программы, что характеризует гибкость работы модуля.

Система управления включает технические и программные средства.

*Технические средства системы управления* — это вычислительные машины, устройства сопряжения с объектом и устройства передачи данных. Технические средства функционируют под управлением программных средств.

*Программные средства* — это программы, определяющие порядок реализации функций, возложенных на систему управления. В зависимости от назначения программы эти средства делятся на обслуживающие и функциональные.

Обслуживающие программы предназначены для выполнения вспомогательных в смысле целевого назначения модуля функций, таких, как управление начальной загрузкой программ и данных в память ЭВМ, контроль работоспособности ЭВМ и других аппаратурных средств системы управления, управление обменом данными и другими модулями ГАП. Совокупность обслуживающих программ, обеспечивающих управление работой ЭВМ и реализующих вспомогательные функции по управлению модулем, является операционной системой ЭВМ.

Функциональные программы, называемые также технологическими или прикладными, предназначены для организации управления работой модуля. В них содержится информация о последовательности действий в управляемом объекте в соответствии с технологическими программами.



В процессе автоматического функционирования система управления модулем ГАП обеспечивает:

- управление порядком функционирования оборудования;
- формирование данных о нормальном или аварийном завершении операций;
- контроль за исправностью управляющих устройств и управляемого оборудования.

Комплекс самостоятельных единиц оборудования, объединенных так, чтобы было возможно их независимое или параллельное функционирование под управлением одной программы, называется ячейкой ГАП. Как правило, каждой ячейкой производства, транспортной системой и автоматическим складом управляют специальные ЭВМ. Совместное функционирование ячеек, транспорта и склада обеспечивается СУ ГАП, которая включает в себя центральную ЭВМ, управляющую ЭВМ низшего уровня иерархии, аппаратуру для связи с другими ЭВМ и оборудование операторов, контролирующих работу ГАП. Функциональная схема СУ ГАП, действующей на уровне линии, участка и цеха, представлена на рис. 1.2.

Здесь материальные потоки, в отличие от информационных, обозначены двойными стрелками.

Исполнительный комплекс состоит:

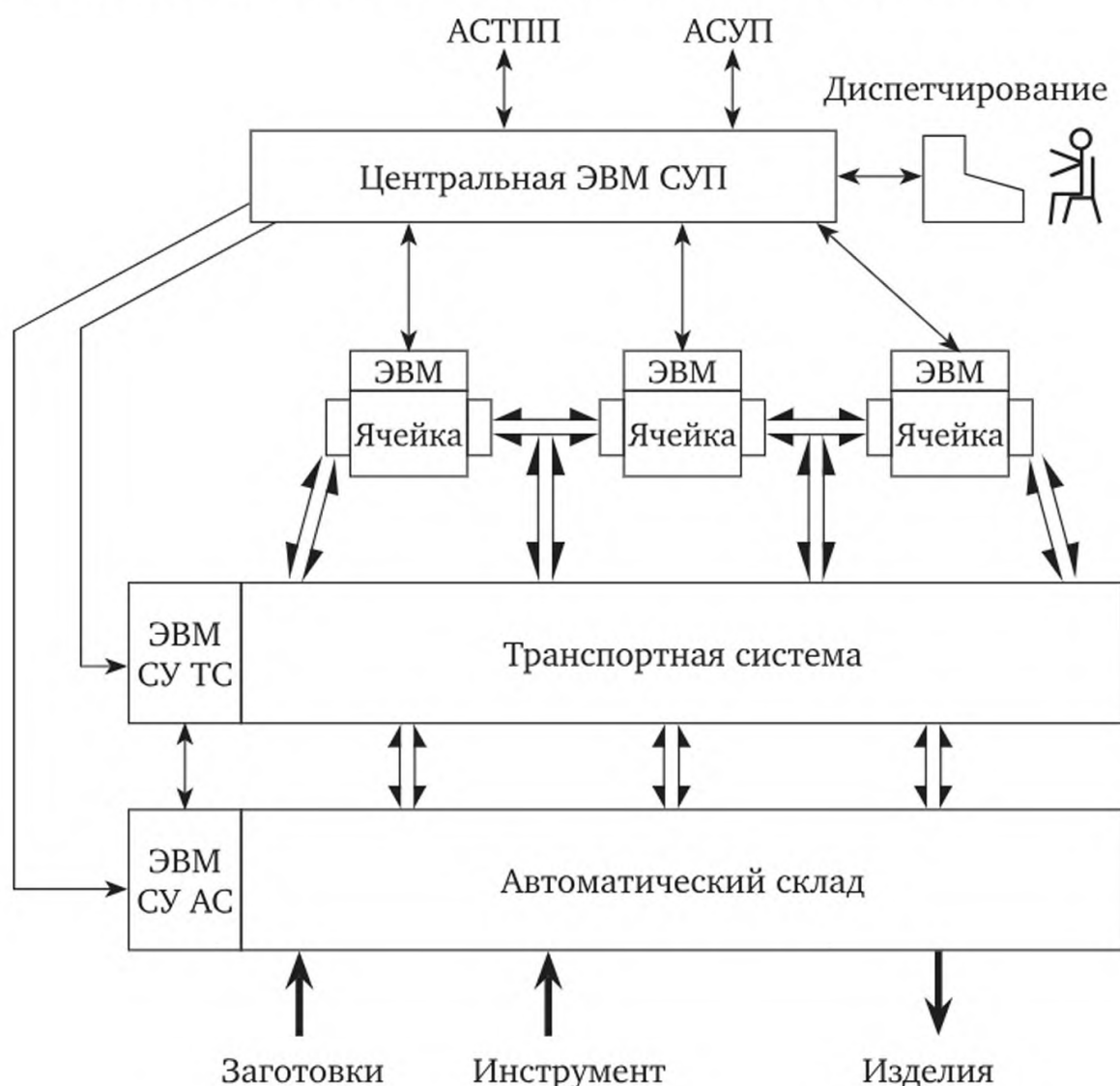
- из системы ячеек, объединяющей обрабатывающие, контрольно-измерительные и робототехнические модули для реализации заданной технологии;
- транспортной системы, включающей в себя автоматические транспортные средства, и программной системы управления транспортными средствами;
- автоматического склада, программно управляемого системой управления автоматическим складом.

Система управления реализует следующие основные функции:

- загрузку в ЭВМ программ, обеспечивающих функционирование компонентов исполнительной системы в соответствии с планом производства изделий;
- синхронизацию работы компонентов исполнительной системы с темпом работы оборудования согласно заданной технологии и плану производства изделий.

Загрузка управляющих программ сводится к передаче программ из памяти ЭВМ СУ ГАП в другие ЭВМ, управляющие компонентами исполнительной системы. Процедура загрузки

программ представляет собой переналадку производства, которая заключается не в переналадке оборудования, а в передаче информации в ЭВМ, которые управляют оборудованием.



**Рис. 1.2. Функциональная схема управления линией, участком или цехом:**

СУП — система управления производством, СУ ТС — система управления транспортными средствами, СУ АС — система управления автоматическим складом

Синхронизация работы компонентов ГАП производится использованием соответствующих компонентов исполнительной системы по временной диаграмме функционирования ГАП и текущему состоянию каждого компонента. Управление работой компонентов и контроль их состояний осуществляются с помощью передачи сообщений между ЭВМ СУ ГАП и ЭВМ, управляющими компонентами исполнительной системы. Сообщения передаются по линиям связи, объединяющим все ЭВМ в единый управляющий комплекс.

Электронные вычислительные машины, управляющие ячейками, транспортной системой и автоматическим складом, связаны с центральной ЭВМ СУП высшего уровня, через которую они взаимодействуют и в памяти которой собираются все данные о состоянии производства. На основе этих данных программа управления, реализуемая центральной ЭВМ СУП, формирует команды, передаваемые по линиям связи в ЭВМ нижнего уровня, управляющие конкретным оборудованием. Уменьшение нагрузки на центральную ЭВМ СУП производится за счет передачи данных между ЭВМ одного уровня. Такая связь обеспечивает, например, координацию работы транспортной системы и автоматического склада.

Система управления производством может быть информационно связана с автоматизированной *системой технологической подготовки производства (АСТПП)* и *автоматизированной системой управления производством (АСУП)*. С помощью АСТПП выполняется подготовка программ функционирования производства для каждого из изделий, входящих в номенклатуру. Подготовка программ заключается в разработке маршрутов движения заготовок в процессе их обработки между секциями автоматического склада и ячейками линии, участка или цеха; определении состава инструмента для каждого технического участка и составлении технологического маршрута изделия. На основе технологического маршрута разрабатываются программы управления станками, промышленными роботами, контрольно-измерительными устройствами, транспортной системой и автоматическим складом. Временная диаграмма производства изделия составляется путем определения времени операций, выполняемых ячейками ГАП, транспортными средствами и складом. Исходя из нее, формируется программа для центральной ЭВМ СУП.

С помощью АСУП осуществляются календарное и оперативное планирование производства, учет продукции и использование производственного оборудования, комплектация производства заготовками и инструментом, а также выдача информации о состоянии производства. Гибкое автоматизированное производство функционирует в соответствии с календарным планом, который составляется АСУП. Система управления производством передает в АСУП данные о ходе производства, необходимые для оперативного планирования и учета производства.

Кроме управления исполнительной системой, обеспечения взаимодействия с АСТПП и АСУП центральная ЭВМ СУП выполняет функции по обслуживанию диспетчера-оператора, контролирующего состояние производства и управляющего им в ситуациях, выходящих за рамки возможностей программ управления. В этом случае центральная ЭВМ СУП принимает команды от человека и на их основе реализует управление оборудованием. Для выполнения функций, связанных с диспетчированием, центральная ЭВМ снабжается соответствующими программами и устройствами ввода-вывода данных, обеспечивающими, например, ввод данных в ЭВМ с клавиатуры диспетчера-оператора и вывод их на дисплей и печатающее устройство.

Система управления производством является многоуровневой системой программного управления на базе ЭВМ. Принципиальная схема управления производством показана на рис. 1.3.

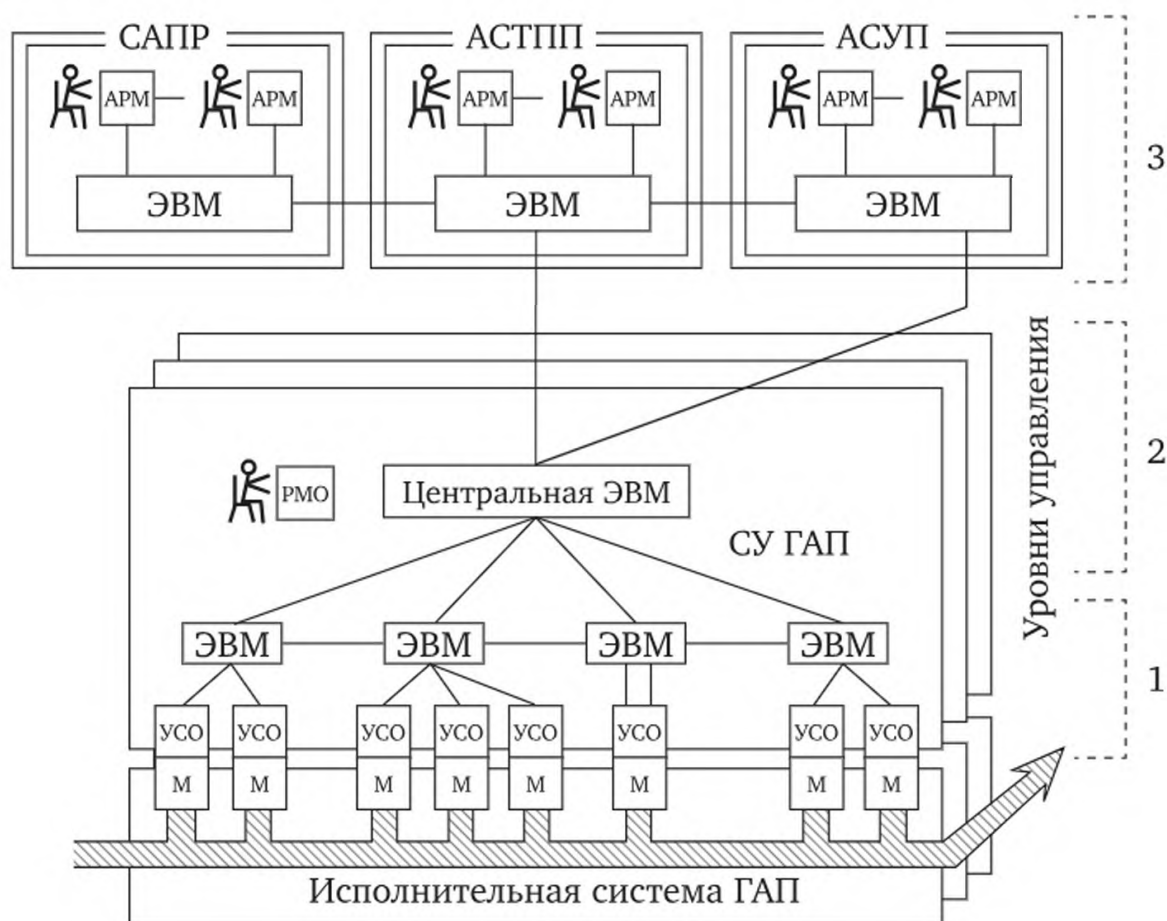


Рис. 1.3. Уровни управления производством:

АРМ — автоматизированное рабочее место; РМО — рабочее место оператора; УСО — устройство сопряжения с объектом, М — модуль исполнительной системы



Исполнительная система представлена в виде совокупности модулей, выполняющих технологические и транспортные операции над материальным потоком. Через устройства сопряжения с объектами ЭВМ управляет модулями.

Первый уровень управления решает задачи управления отдельными компонентами исполнительной системы. Входящие в него ЭВМ могут взаимодействовать между собой для согласования работы соседних модулей.

Второй уровень координирует работу ЭВМ первого уровня и реализуется центральной ЭВМ системы управления линией, участком или цехом. Поскольку линии, участки и цехи материально и организационно взаимосвязаны, они также должны быть информационно взаимосвязаны путем сопряжения своих центральных ЭВМ или через ЭВМ более высокого уровня иерархии.

Третий уровень управления представляет собой ЭВМ АСТПП и ЭВМ АСУП, которые связаны с центральной ЭВМ.

Через них можно оперативно вводить необходимую информацию в виде программ и данных по технологической подготовке производства и по его плановому управлению. ЭВМ третьего уровня в общем случае включают в себя также ЭВМ САПР.

Современная автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) представляет собой многоуровневую человеко-машинную систему управления. Создание АСУ сложными технологическими процессами осуществляется с использованием автоматических информационных систем сбора данных и вычислительных комплексов, которые постоянно совершенствуются по мере эволюции технических средств и программного обеспечения.

Непрерывную во времени картину развития АСУТП можно разделить на три этапа, обусловленные появлением качественно новых научных идей и технических средств.

Первый этап отражает внедрение систем автоматического регулирования (САР). Объектами управления на этом этапе являются отдельные параметры, установки, агрегаты; решение задач стабилизации, программного управления, слежения переходит от человека к САР. Человек реализует функции расчета задания и параметров настройки регуляторов.

Второй этап — автоматизация технологических процессов. Объектом управления становится рассредоточенная в простран-

стве система. С помощью систем автоматического управления (САУ) реализуются все более сложные законы управления, решаются задачи оптимального и адаптивного управления, проводится идентификация объекта и состояний системы. Характерной особенностью этого этапа является внедрение систем телемеханики в управление технологическими процессами. Человек все больше отдаляется от объекта управления, между объектом и диспетчером выстраивается целый ряд измерительных систем, исполнительных механизмов, средств телемеханики, мнемосхем и других *средств отображения информации* (СОИ).

Третий этап — автоматизированные системы управления технологическими процессами — характеризуется внедрением в управление технологическими процессами вычислительной техники. Вначале — применение микропроцессоров, использование на отдельных фазах управления вычислительных систем. Затем активное развитие человеко-машинных систем управления, инженерной психологии, методов и моделей исследования операций и, наконец, диспетчерское управление на основе использования автоматических информационных систем сбора данных и современных вычислительных комплексов.

Диспетчер в многоуровневой автоматизированной системе управления технологическими процессами получает информацию с монитора ЭВМ или с электронной системы отображения информации и воздействует на объекты, находящиеся от него на значительном расстоянии, с помощью телекоммуникационных систем, контроллеров, интеллектуальных исполнительных механизмов.

Концепция SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) — диспетчерское управление и сбор данных — позволяет достичь высокого уровня автоматизации в решении задач разработки систем управления, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации.

Дружественность *человеко-машинного интерфейса* (HMI/MMI), предоставляемого SCADA-системами, полнота и наглядность представляемой на экране информации, удобство пользования подсказками и справочной системой повышает эффективность взаимодействия диспетчера с системой и сводит к нулю его критические ошибки при управлении. В настоящее время SCADA является основным и наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами и процессами.

Многие проекты автоматизированных систем контроля и управления (СКУ) для большого спектра областей применения позволяют выделить обобщенную схему их реализации, представленную на рис. 1.4.

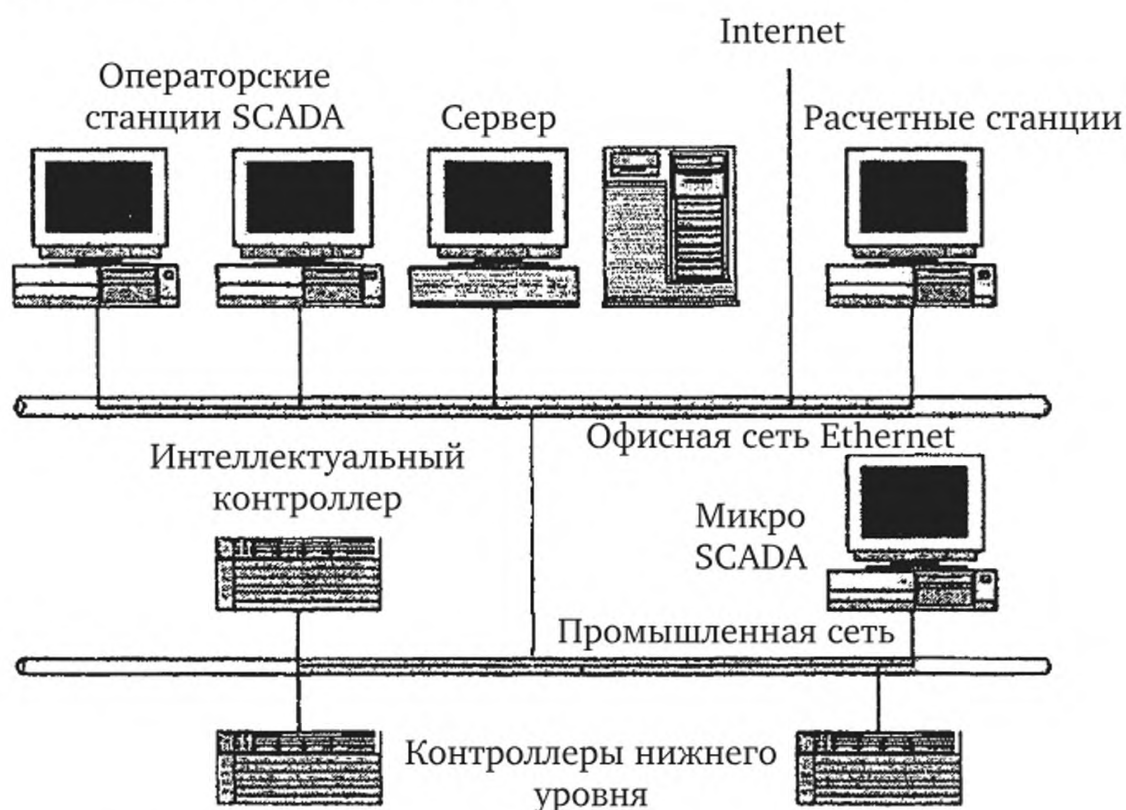


Рис. 1.4. Обобщенная схема системы контроля и управления технологическими процессами

Как правило, это двухуровневые системы, так как именно на этих уровнях реализуется непосредственное управление технологическими процессами. Специфика каждой конкретной системы управления определяется используемой на каждом уровне программно-аппаратной платформой.

Нижний уровень — уровень объекта (контроллерный) — включает различные датчики для сбора информации о ходе технологического процесса, электроприводы и исполнительные механизмы для реализации регулирующих и управляющих воздействий. Датчики поставляют информацию локальным программируемым логическим контроллерам PLC (*Programming Logical Controller*), которые могут выполнять следующие функции:

- сбор и обработка информации о параметрах технологического процесса;
- управление электроприводами и другими исполнительными механизмами;



- решение задач автоматического логического управления и др.

Так как информация в контроллерах предварительно обрабатывается и частично используется на месте, существенно снижаются требования к пропускной способности каналов связи.

В качестве локальных PLC в системах контроля и управления различными технологическими процессами в настоящее время применяются контроллеры как отечественного, так и зарубежного производства. На рынке представлены десятки типов контроллеров, способных обрабатывать от нескольких до нескольких сот переменных.

К аппаратно-программным средствам контроллерного уровня управления предъявляются жесткие требования по надежности, времени реакции на исполнительные устройства, датчики и т. д. Программируемые логические контроллеры должны гарантированно откликаться на внешние события, поступающие от объекта, за время, определенное для каждого события. Для критичных с этой точки зрения объектов рекомендуется использовать контроллеры с *операционными системами реального времени* (ОСРВ). Контроллеры под управлением ОСРВ функционируют в режиме жесткого реального времени.

*Микро-SCADA* — это системы, реализующие стандартные базовые функции, присущие SCADA-системам верхнего уровня, но ориентированные на решение задач автоматизации в определенной отрасли, т. е. узкоспециализированные системы. В противоположность им SCADA-системы верхнего уровня являются универсальными.

Все компоненты системы управления объединены между собой каналами связи. Обеспечение взаимодействия SCADA-систем с локальными контроллерами, контроллерами верхнего уровня, офисными и промышленными сетями возложено на так называемое *коммуникационное программное обеспечение*.

Большой объем информации, непрерывно поступающий с устройств ввода-вывода систем управления, предопределяет наличие в таких системах баз данных (БД). Основная задача баз данных — своевременно обеспечить пользователя всех уровней управления требуемой информацией.

Для специалиста-разработчика системы автоматизации, так же как и для специалиста-технолога, очень важен графический пользовательский интерфейс. Функционально графические интерфейсы SCADA-систем похожи. В каждой из них существует

графический объектно-ориентированный редактор с определенным набором анимационных функций. Используемая векторная графика дает возможность осуществлять широкий набор операций над выбранным объектом, а также быстро обновлять изображение на экране, используя средства анимации.

Крайне важен также вопрос о поддержке в рассматриваемых системах стандартных функций GUI (*Graphic Users Interface*), поскольку большинство SCADA-систем работают под управлением Windows, что и определяет тип используемого GUI.

Система является открытой, если для нее определены и описаны используемые форматы данных и процедурный интерфейс, что позволяет подключить к ней внешние независимо разработанные компоненты.

Современные SCADA-системы не ограничивают выбора аппаратуры нижнего уровня, так как предоставляют большой набор драйверов или серверов ввода-вывода и имеют хорошо развитые средства создания собственных программных модулей или драйверов новых устройств нижнего уровня. Сами драйверы разрабатываются с использованием стандартных языков программирования.

Для организации взаимодействия с контроллерами могут быть использованы следующие аппаратные средства:

- *COM-порты.* В этом случае контроллер или объединенные сетью контроллеры подключаются по протоколам RS-232, RS-422, RS-485.
- *Сетевые платы.* Использование такой аппаратной поддержки возможно, если соответствующие контроллеры снабжены интерфейсным выходом на Ethernet.
- *Вставные платы.* В этом случае протокол взаимодействия определяется платой и может быть уникальным. В настоящее время предлагаются реализации в стандартах ISA, PCI, CompactPCI.

## **Контрольные вопросы**

1. Как классифицируются технические средства автоматизации по виду используемой энергии?
2. Что называется электрическим сервомеханизмом?
3. Какие преимущества имеют пневматические и гидравлические исполнительные устройства?
4. Что относится к основным техническим параметрам микропроцессоров?

5. Чем характеризуется поточная форма организации технологических процессов?
6. Какие средства автоматизации целесообразно использовать в мелкосерийном и единичном производствах для обработки большой номенклатуры часто сменяемых деталей?
7. Каковы функции управляющего автомата?
8. Что входит в технические средства системы управления?
9. Какие уровни имеет схема управления производством?
10. Как выглядит обобщенная схема системы контроля и управления технологическими процессами?

## 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

### 2.1. Станки и системы числового программного управления

Промышленная технологическая система имеет следующий состав технических средств: оборудование для изготовления заготовок, станки токарной группы, обрабатывающие центры, системы числового программного управления (ЧПУ) и промышленные роботы (ПР).

*Оборудование для изготовления заготовок* используется в технологии изготовления изделия, от заготовок до получения готовой детали. Типовыми операциями при изготовлении заготовок корпусных деталей, в частности корпусных деталей для ЭВМ, является горячая штамповка, радиальная и торцевая раскатка, литье. Одним из наиболее прогрессивных видов формообразования в производстве заготовок корпусных деталей из цветных сплавов является литье под давлением. В автоматизированный комплекс литья под давлением входят машина литья под давлением, раздаточная электропечь, робот для заливки расплавленного металла, устройство смазки пресс-форм, робот для извлечения отливки из пресс-формы, резервуар для охлаждения отливки и пресс для обрубки литников и облоя.

*Станки токарной группы* подразделяются в зависимости от вида крепления заготовки на патронные, центровые и комбинированные патронно-центровые. Для малых производственных площадей целесообразно использование патронных станков с ЧПУ вертикального исполнения. Широко распространен серийный станок с двумя четырехпозиционными суппортами с независимыми перемещениями. Удобство загрузки и установки детали в патрон, постоянство ориентации детали при транспортировании и обработке обуславливают простоту



автоматизации этих операций и встраивание станков указанной модели в гибкие автоматизированные комплексы.

Патронно-центровые станки эффективно используются на опытных производствах с часто меняющейся номенклатурой изделий. Применение патронно-центровых станков несколько увеличивает производственные площади, но повышает универсальность из-за возможности обработки широкой номенклатуры деталей.

Обработывающие центры являются станками сверлильно-фрезерно-расточной группы для обработки корпусных и плоскостных деталей. Они обладают возможностью автоматизации смены инструмента и деталей, а также осуществления автоматического контроля обрабатываемых деталей. Примером обрабатывающего центра является многоцелевой горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточный станок, показанный на рис. 2.1.

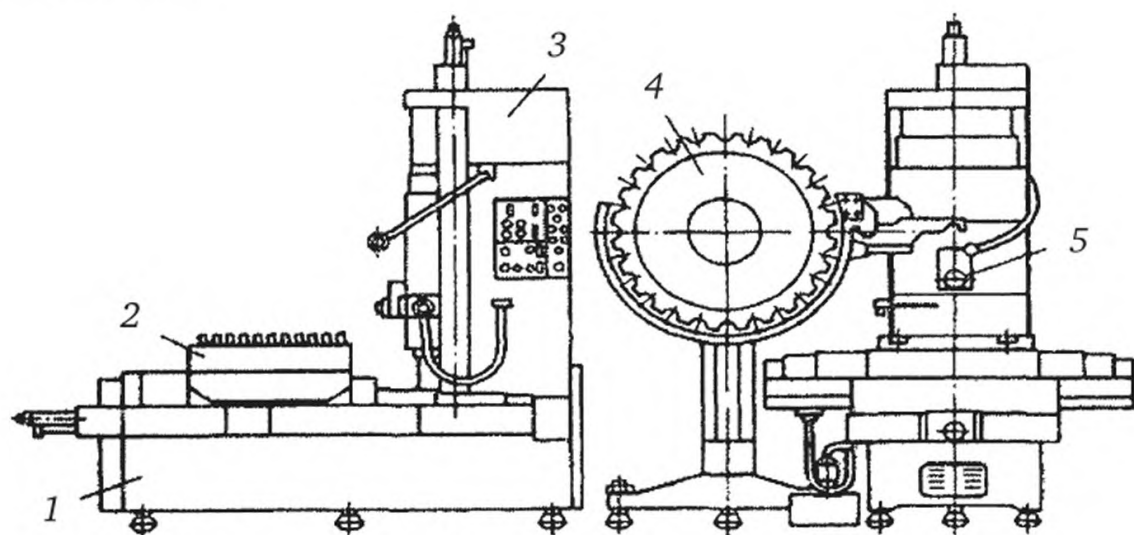


Рис. 2.1. Многоцелевой горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточный станок:

- 1 — основание; 2 — стол; 3 — шпиндельная бабка;  
4 — инструментальный магазин; 5 — шпиндель

Этот станок предназначен для комплексной обработки корпусных деталей средних размеров с четырех сторон без переустановки. Размеры деталей ограничены рабочей поверхностью стола. На станке можно производить фрезерование плоскостей, пазов и криволинейных поверхностей концевыми, торцевыми и дисковыми фрезами, а также выполнять операции растачивания, сверления, зенкерования и нарезания резьбы метчиками.

Для автоматической установки инструмента по углу и получения возможности нарезания резьбы резцом станок оснащен



устройством для контроля угла поворота. Расширение технологических возможностей станка достигается за счет поворотного стола, точность которого позволяет обрабатывать соосные отверстия консольным инструментом. Устройство для автоматической смены инструмента содержит инструментальный магазин на несколько десятков позиций. Важной характеристикой станка является минимальное время разгона и торможения привода подач, находящееся в пределах 0,2 с. Это обеспечивает высокую производительность станка.

Системы ЧПУ позволяют осуществлять выполнение технологической операции по заранее определенной программе, заданной в цифровой форме.

*Системой ЧПУ* называется совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих числовое программное управление объектом управления, например станком.

Общая структура системы ЧПУ приведена на рис. 2.2.

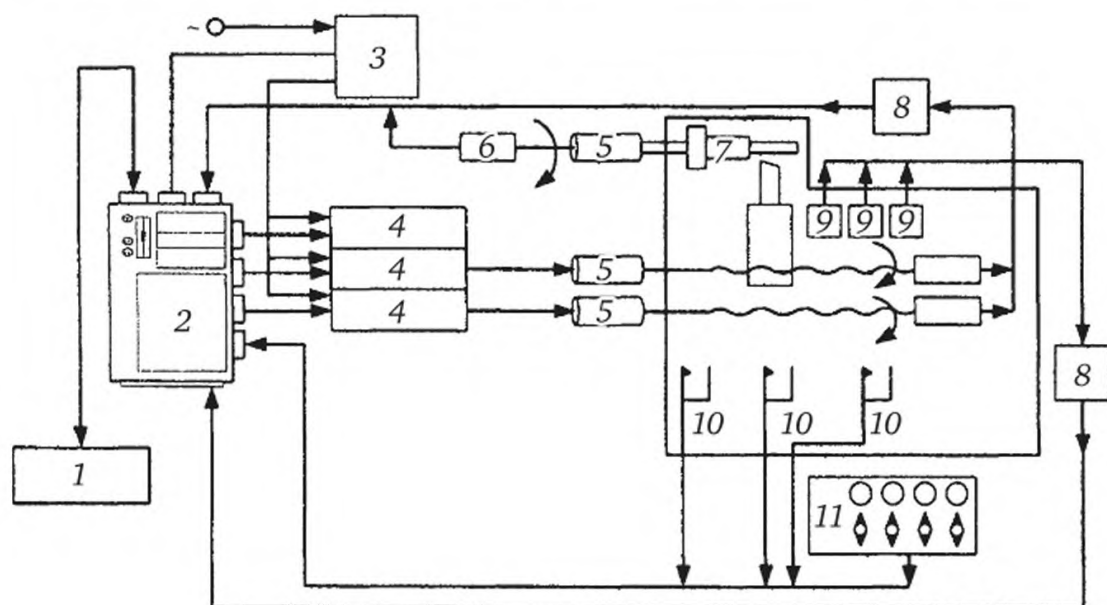


Рис. 2.2. Общая структура системы ЧПУ:

- 1 — аппаратура связи с ЭВМ верхнего ранга, периферийные устройства ввода — вывода данных; 2 — устройство ЧПУ; 3 — станция питания и другие вспомогательные узлы; 4 — блок управления двигателями подач; 5 — двигатели приводов подач и привода главного движения; 6 — измерительные преобразователи перемещений рабочих органов станка; 7 — кинематическая система станка; 8 — нормирующие и согласующие блоки измерительных каналов; 9 — измерительные датчики параметров технологического процесса; 10 — сигнальные датчики фиксированных положений рабочих органов; 11 — рабочие органы пульта управления станка

Устройством ЧПУ называется устройство, выдающее управляющие сигналы на исполнительные органы станка в соответствии с управляющей программой и информацией о состоянии управляемого объекта. Под управляющей программой (УП) понимается совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки. Описание управляющей программы обработки может быть представлено последовательностью отдельных кадров программы. Каждый кадр имеет адресную структуру с последовательностью команд и записывается с помощью алфавитно-цифровых символов. Цифровая информация дает при этом количественную характеристику описания.

Устройства ЧПУ выпускаются в виде номенклатурно-параметрических рядов, характеризующихся числом каналов управления приводами, типом управляемых приводов перемещений и используемых в них датчиков, объемом информации обмена со станком и конструктивным исполнением.

Унификация системы ЧПУ для разных технологических объектов экономически эффективна. Системы, обеспечивающие управление широким классом объектов, называются многоцелевыми. Перенастройка многоцелевых систем ЧПУ для нового объекта управления, в частности для нового станка, обеспечивается изменением алгоритмов функционирования.

Совокупность программ, отражающих алгоритмы функционирования объекта управления, называется *системным программным обеспечением*. Системное программное обеспечение остается неизменным для данного объекта управления в отличие от управляющей программы, которая изменяется при изготовлении разных деталей на одном и том же объекте.

Существует несколько поколений систем ЧПУ. Системы первого поколения наиболее просты. К ним относятся системы ЧПУ, работавшие от магнитной ленты по управляющей программе. Для этих систем характерно промежуточное преобразование закодированной управляющей программы в виде числовых массивов на перфоленте в непрерывную программу на магнитной ленте. Это преобразование выполняется на специальном централизованном интерполяторе, который не совмещен со станком. Система управления станка воспроизводит только запись с магнитной ленты. Отсюда следует основной недостаток таких систем, заключающийся в невозможности кор-

рекции управляющей программы непосредственно у станка, а также удлинённый цикл технологической подготовки производства, обусловленный наличием дополнительного программноносителя в виде магнитной ленты.

Ко второму поколению относятся системы со структурой NC (*Numerical Control*). Название структуры образовано из первых букв английского эквивалента выражения «числовое управление». Эта система обеспечивает работу станка от управляющей программы, закодированной на восьмидорожечной перфоленте. Характерной чертой структур типа NC является аппаратная реализация функциональных узлов системы, приводящая к низкому уровню унификации и соответственно к большому разнообразию типов устройств ЧПУ. Отсутствие при этом оперативной памяти обуславливает жесткость алгоритмов функционирования, а необходимость обращения к программноносителю на перфоленте в каждом кадре уменьшает надежность системы.

В третьем поколении систем ЧПУ была повышена унификация и гибкость за счет использования структур типа CNC (*Computer Numerical Control*), что означает «числовое управление на основе ЭВМ». Эта структура соответствует многоцелевым перепрограммируемым системам ЧПУ, которые приспособливают управляющую ЭВМ для решения задач систем ЧПУ. В качестве программируемого преобразователя здесь выступает процессор, включающий в себя арифметико-логическое устройство и устройство управления.

Хранение информации осуществляется в оперативном запоминающем устройстве, постоянном запоминающем устройстве и полупостоянном запоминающем устройстве, а также во внешних устройствах. Управление технологическим процессом осуществляется по меткам реального времени, которые формируются таймером. Связь между блоками системы и технологическим объектом организуется через интерфейсные шины, а связь с внешними устройствами — через контроллер обмена. Согласование управления процессами во всех блоках реализуется устройством управления. Обмен информацией с технологическим объектом производится через шины местного интерфейса. Типичными узлами связи с технологическим оборудованием являются многоканальные аналого-цифровые преобразователи, цифроаналоговые преобразователи, а также узлы приема и вывода цифровых сигналов в виде кодов.



Высокий уровень унификации систем типа *CNC* достигается за счет использования таких свойств управляющей вычислительной техники, как программируемость и агрегируемость. *Программируемость* позволяет редактировать управляющую программу у станка и без конструктивных вмешательств изменять алгоритмы функционирования системы. *Агрегируемость* позволяет использовать эти системы для управления самым различным оборудованием, что характеризует их как многоцелевые.

Еще большее развитие функциональных возможностей проявляется в системах ЧПУ типа *DNC* (*Direct Numerical Control*), что означает «прямое числовое управление». С помощью этих систем можно управлять напрямую от ЭВМ целой группой станков. В памяти ЭВМ находятся управляющие программы деталей, изготавливаемых на этих станках. Однако одноуровневые системы типа *DNC* не являются эффективными из-за возможности сбоя работы всех станков при отказе ЭВМ. Оптимальными в смысле эффективности являются двухуровневые системы типа *DNC* с ЭВМ на верхнем уровне и с системами ЧПУ типа *CNC* на нижнем. Каждым технологическим объектом управляет собственная система типа *CNC*, а работу всех систем организует одна ЭВМ.

Принципиальным отличием систем *DNC* является отсутствие перфоленты в системах ЧПУ нижнего уровня, что позволяет передавать управляющие программы по линиям связи между верхним и нижним уровнями без участия человека. Таким образом, системы ЧПУ типа *DNC* в наибольшей степени удовлетворяют следующим требованиям, предъявляемым к системам управления в условиях гибких автоматизированных производств:

- возможность программирования без конструктивных изменений различных законов управления с хранением системного программного обеспечения в оперативной памяти;
- энергонезависимость, обеспечивающая хранение системного программного обеспечения и накопленных необходимых массивов информации;
- помехоустойчивость, позволяющая управлять технологическим оборудованием, вызывающим высокий уровень помех;
- многокоординатное и многопараметрическое управление при возможности агрегирования средств сопряжения;
- обеспечение требуемой производительности и точности управления, а также достаточного ресурса памяти.



Основные задачи систем ЧПУ в условиях гибкого автоматизированного производства можно сформулировать следующим образом:

1. Ввод и хранение системного программного обеспечения и управляющей программы. Ввод информации может производиться по каналу связи с ЭВМ верхнего уровня.

2. Реализация циклов — выделение повторяющихся участков программы для ее сокращения. Фиксированные циклы характерны для определенных технологических операций, встречающихся при изготовлении многих изделий, например при сверлении. Программные технологические циклы соответствуют повторяющимся участкам данного изделия.

3. Интерпретация кадра — проведение предварительных процедур для отработки очередного кадра программы с целью обеспечения непрерывности управления.

4. Интерполяция — получение с требуемой точностью координат промежуточных точек траектории движения по координатам крайних точек и заданной функции интерполяции.

5. Управление приводами подач — организация цифровых позиционных следящих систем для каждой координаты движения. На вход системы управления приводами поступают коды, зависящие от результатов интерполяции. Этим кодам соответствует определенное перемещение по координате.

6. Коррекция на размеры инструментов — смещение координат при коррекции управляющей программы на длину инструмента или формирование эквидистантных траекторий при учете фактического радиуса инструмента.

7. Логическое управление — управление технологическими узлами дискретного действия, входные сигналы которых производят релейные операции.

8. Смена инструмента — поиск гнезда магазина с требуемым инструментом и замена отработавшего инструмента на новый.

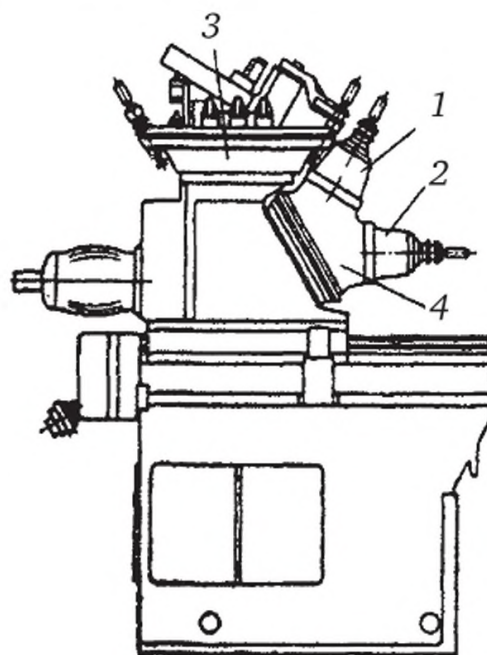
9. Адаптивное управление — организация обратной связи с помощью датчиков непосредственно от изготавливаемого изделия для повышения качества его обработки.

10. Автоматический встроенный контроль — установка датчиков контроля в зоне обработки изделия.

Приведенный перечень задач может быть дополнен задачами обмена информацией с сопрягаемыми устройствами.

Все задачи определяют необходимость развития многоцелевых систем ЧПУ, обладающих свойствами унификации и гибкости. Основным способом реализации задач является программный, при котором решаемой задаче ставится в соответствие не конструктивный, а программный модуль, являющийся частью системного программного обеспечения и хранящийся в памяти.

Смена инструмента может реализовываться по схеме, представленной на рис. 2.3.



*Рис. 2.3. Схема смены инструмента:*

1 — магазин, 2 — инструментальная оправка, 3 — ось шпинделя станка, 4 — барабан

Магазин расположен на корпусе шпиндельной бабки так, что при транспортировании инструментальной оправки в зону перегрузки ее ось совмещается с осью шпинделя станка. При перемещении шпиндельной каретки оправка захватывается и зажимается в шпинделе. При дальнейшем движении шпинделя вдоль оси оправка освобождается из захватов магазина, после чего включается привод шпинделя и выполняется операция обработки заготовки.

Время смены инструмента в механизмах таких конструкций складывается из времени поиска заданного инструмента, захвата шпинделем и выталкивания из магазина инструментальной оправки и ее установки в магазин после выполнения операции обработки детали.

Для сокращения времени смены инструмента используют двухшпиндельную поворотную головку (рис. 2.4).

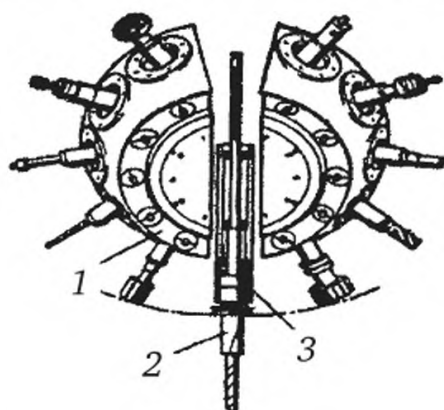


Рис. 2.4. Двухшпиндельная поворотная головка:  
1 — барабан, 2 — инструмент, 3 — магазин

Загрузка инструмента из магазина осуществляется, в то время как шпинделем производится обработка детали. Затем барабан поворачивается, и шпиндели меняются местами. Время смены инструмента определяется временем поворота барабана на  $180^\circ$  и его зажима.

Для обработки крупногабаритных изделий используют схему с закрепленным объектом обработки и подвижным инструментом. Пример обработки корпусных деталей по такой схеме приведен на рис. 2.5.

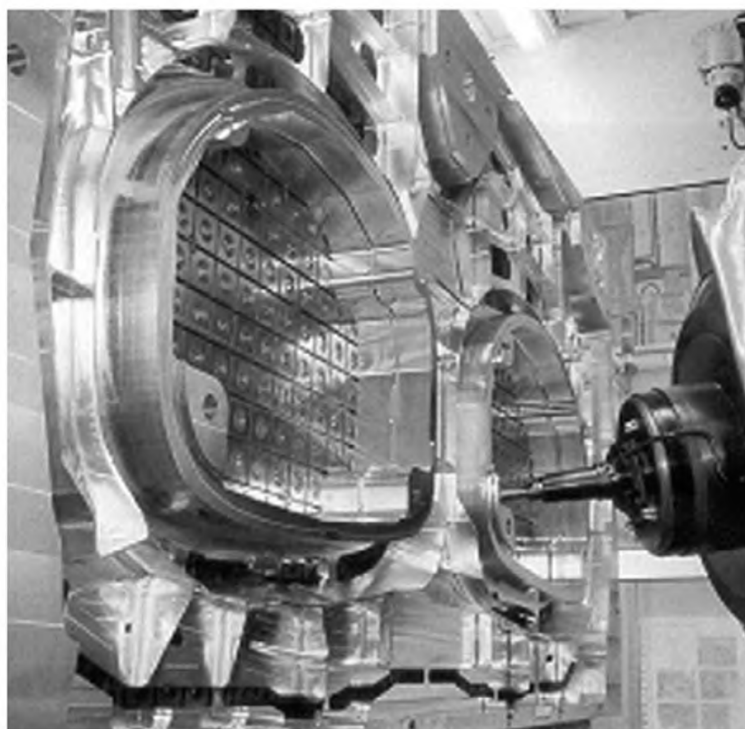


Рис. 2.5. Пример обработки крупногабаритного изделия



Организация встроенного автоматического контроля ускоряет переход на так называемую «безлюдную технологию». Контроль в зоне обработки позволяет без участия оператора решать задачи базирования, коррекции на размеры инструмента и технической диагностики. Расширение сети датчиков обратной связи от объекта позволит более гибко управлять технологическим процессом. Перспективной является также организация коррекции погрешностей механических узлов оборудования по таблицам, хранящимся в памяти системы ЧПУ. Формирование таблиц может быть автоматизировано за счет средств встроенного контроля.

Безотказность систем ЧПУ можно повысить как общим улучшением качества средств автоматики, так и совершенствованием организации систем. Иерархические системы производят обмен информацией между уровнями через унифицированные системы сопряжения — *интерфейсы*.

В соответствии с формой передачи данных интерфейсы подразделяют на параллельные, последовательно-параллельные и последовательные. При передаче данных параллельным или последовательно-параллельным способами сигналы в приемное устройство поступают не одновременно, что обусловлено разбросом параметров шин сопряжения и формирующих схем. Это может привести к ошибкам в считывании информации, поэтому предпочтение отдают последовательным интерфейсам, так как исключается указанный недостаток. Однако они характеризуются меньшей скоростью обмена.

Большое значение имеет эффективность каналов и линий связи между терминальными системами ЧПУ и ЭВМ верхнего уровня. Перспективным является применение оптических линий связи, обладающих высокой помехоустойчивостью.

В последнее время в области ЧПУ произошли изменения, затрагивающие функциональные возможности, аппаратную платформу и системные средства, архитектуру и состав прикладного математического обеспечения. Доминирующие позиции заняла концепция открытых систем ЧПУ — PCNC (*Personal Computer Numerical Control*), построенных на базе персонального компьютера.

Пример PCNC станка для лазерной обработки деталей приведен на рис. 2.6.

Гибкие и сложные системы ЧПУ с открытой архитектурой выполняют согласно двухкомпьютерной архитектурной моде-



ли. По мере роста вычислительной мощности компьютеров все более используемым становится однокомпьютерный вариант.

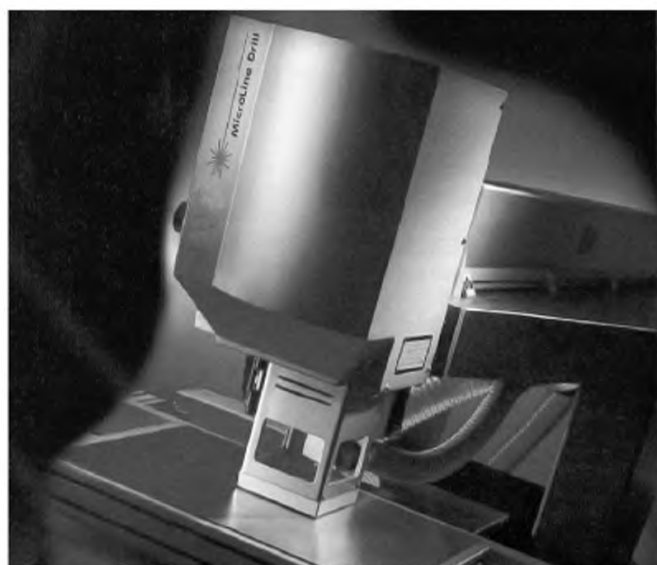


Рис. 2.6. PCNC — станок для лазерной обработки деталей

Двухкомпьютерная модель предполагает размещение PC-подсистемы на одном компьютере, а NC-подсистемы — на другом. В PC-подсистеме наиболее целесообразна операционная система Windows NT, а в NC-подсистеме — операционная система реального времени UNIX. Обе операционные системы совместимы в том смысле, что поддерживают коммуникационные протоколы TCP/IP, и это позволяет построить коммуникационную среду, объединяющую подсистемы. Включение в эту среду прикладного уровня с многочисленными функциями доступа к интерфейсам модулей создает виртуальную шину, оказывающую услуги доступа на низком уровне. Объектная надстройка в шине формирует глобальный сервер, т. е. единую для обеих подсистем объектно-ориентированную магистраль.

Однокомпьютерная модель предполагает использование традиционного компьютера, оснащенного дополнительными контроллерами для связи с мехатронными объектами управления. В их числе могут быть: контроллер следящих приводов, программируемый контроллер PLC (*Programmable Logic Controller*), специальные устройства для управления технологическими процессами и др. В качестве операционной может быть использована система Windows NT, которая, однако, не является системой реального времени и в этой связи требует соответствующего расширения. Система RTX модифицирует слой HAL (*Hardware Abstraction Layer*) операционной системы

Windows NT и дополняет его диспетчером потоков реального времени.

Современные принципы построения архитектуры ЧПУ заключаются в четком разграничении между системными, прикладными и коммуникационными компонентами, возможности независимого развития любого из этих компонентов, как на основе оригинальных разработок, так и путем встраивания покупных программных систем, а также в организации взаимодействия подсистем «клиент-сервер» и стандартизации интерфейсов и транзакций.

В настоящее время наиболее универсальными являются открытые системы ЧПУ, подсистемы которой (включая интерфейс оператора, Motion Control и контроллер электроавтоматики SoftPLC) стали полностью программно-реализованными на единой компьютерной Windows-платформе. Преимущества программной реализации подсистемы формообразования объединились с достоинствами цифровых следящих приводов.

Эволюция цифрового привода привела к созданию *интеллектуальных цифровых приводов*, обеспечивающих повышенные скорость и точность. Для их использования необходим быстродействующий цифровой стандартный интерфейс, который обеспечивал бы возможность подключения приводов от любых производителей. Всем этим требованиям отвечает SERCOS — интерфейс (*Serial Realtime Communication System*) для цифровых следящих приводов, который стал базой международного стандарта IEC 61491 и европейского стандарта EN 61491 для систем ЧПУ.

Каждая координатная ось управляется циклическими командами, генерируемыми интерполятором системы управления. При этом обеспечиваются высокая точность отдельной оси и совокупная точность интерполируемого движения. Обработка сигналов интеллектуального цифрового привода выполняется при помощи микроконтроллера. Микроконтроллер способен не только осуществлять традиционное управление моментом и скоростью подачи, но и выполнять тонкую интерполяцию и позиционное управление с исключительно коротким вычислительным циклом. В сравнении с традиционными приводами достигается максимально высокая точность, причем различие особенно заметно при высоких скоростях подачи.

Цифровые приводы работают циклически, а циклом является интерполяционный цикл системы ЧПУ. В каждом цикле

значения переменных обновляются для каждого привода. Цифровой интерфейс должен обеспечить синхронизацию циклов контроллера и следящих приводов. Такая синхронизация осуществляется с микросекундной точностью, поскольку оказывает влияние на взаимную координацию приводов и одновременное выполнение команд. SERCOS интерфейс осуществляет синхронизацию для любого количества следящих приводов. Отдельные следящие приводы объединяются по своим входам в «кольцо» при помощи оптоволоконного кабеля.

Для унифицированного доступа к следующему поколению станков с ЧПУ, имеющих Web-доступ, используют язык XML, программное обеспечение управления движением XMC, OMAC-схемы (*Open Modular Architecture for Controllers*) и протокол SOAP (*Simple Object Access Protocol*). Структура такого доступа приведена на рис. 2.7.

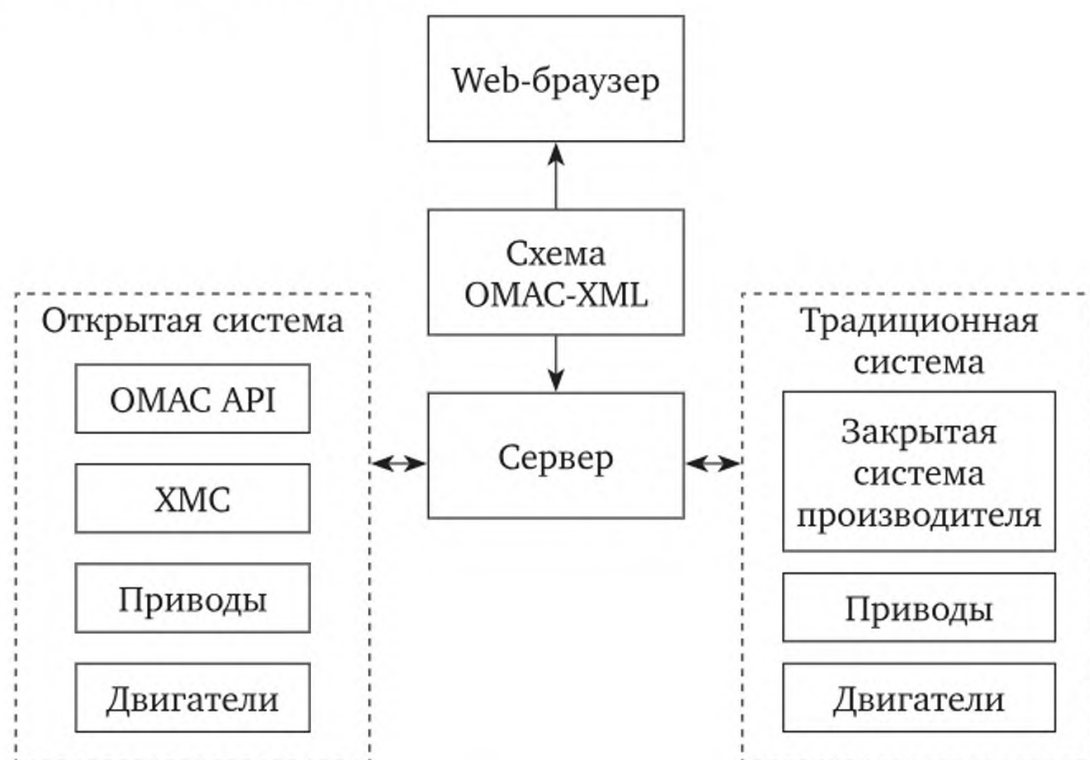


Рис. 2.7. Структура Web-доступа к системам с ЧПУ

При этом реализуется концепция взаимодействия оборудования в рамках всего жизненного цикла производства изделий с использованием MES-систем (*Manufacturing Enterprise Solutions*).

MES-система — это автоматизированная система управления и оптимизации производственной деятельности, которая в режиме реального времени инициирует, отслеживает, опти-

мизирует и документирует производственные процессы от начала выполнения заказа до выпуска готовой продукции.

Для осуществления принципа «проектирование и производство в любом месте» (*design anywhere, build anywhere*) создана архитектура системы ЧПУ для ОС Windows типа GNC (*Generative Numerical Control*) — интеллектуальная система ЧПУ.

В ряде производств, включая автомобильную промышленность, используется концепция, согласно которой станок с ЧПУ становится узлом корпоративной Web-сети. Наибольшую эффективность OMAC API имеет в Web-домене коллективно используемых станков с ЧПУ. Функции OMAC API конвертируются в язык Internet. Центральным элементом в этой архитектуре служит программный компонент — Windows-расширение XMC (*extension for Motion Control*) для каждого конкретного станка с ЧПУ. Следовательно, XMC размещается между OMAC API и станком с ЧПУ. XMC—XML система использует OMAC XML схемы и SOAP протокол, чтобы создать гомогенную информационную структуру над системами ЧПУ от разных производителей. Единственным ограничением служит обязательное использование ОС Windows в интерфейсе оператора.

Многочисленные пользователи устанавливает дополнительное оборудование, чтобы сделать традиционные системы ЧПУ открытыми. Как правило, в обновлении механической части станков нет нужды, а существенные улучшения могут быть достигнуты путем дооснащения станков с ЧПУ внешним одноплатным компьютером MTIB (*Machine Tool Interface Board*). Цель состоит в превращении системы ЧПУ в узел корпоративной сети, использующий OMAC XML схемы как стандартный универсальный язык ЧПУ. Система ЧПУ становится Web-сервером, который получает, разделяет и распространяет информацию по всему предприятию. XML используется для распространения информации в пределах и за пределами предприятия.

Другая тенденция в развитии современных систем ЧПУ состоит в создании STEP-NC интерфейса. В рамках этой тенденции работает система ЧПУ типа STEP-NC (STEP-NC-CNC), которая получает STEP-NC данные, распознает их и не нуждается в дополнительных инструкциях для выполнения задания.

Фаза активного развития STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data*) приходится на начало 90-х годов. Для описания форматов данных был создан язык EXPRES, а для гра-



фического представления — язык EXPRES-G. STEP-NC унаследовал использование этих языков.

Параллельно с программной индустрией качественные изменения произошли и в области моделирования и представления данных. Во-первых, появился графический язык моделирования UML (*Unified Modeling Language*) ISO 19501, ставший стандартом для визуализации, спецификации, конструирования и документирования систем, в которых ключевая роль принадлежит программному обеспечению. Во-вторых, появился стандарт разметки документов — расширяемый язык разметки XML (*extensible Markup Language*). Формат XML для компьютерных документов достаточно гибок, и его можно приспособить для самых разнообразных сфер деятельности. XML определяет общие правила синтаксиса, используемые для разметки данных при помощи простых доступных для чтения тегов.

Сегодня около 80 % разработчиков на фирмах, производящих системы ЧПУ, связаны с программным обеспечением, и лишь 20 % занимаются аппаратурой. Это и определяет долю программного обеспечения в современной системе ЧПУ.

Стандарт ISO 14649 предоставляет системе ЧПУ обширную связанную информацию, включающую четыре раздела:

- описание задач управления,
- технологическая информация,
- описание инструмента,
- геометрическое описание.

Раздел задач представляет собой логическую последовательность выполняемых блоков и типов данных. Детали каждого шага операции описаны в разделе технологической информации; причем они связаны отношениями с описанием инструмента и геометрическим описанием.

Важнейшим элементом технологического процесса служат типовые формы «*features*», которые определяют области удаляемого материала заготовки, а их внешний вид является частью внешнего вида изделия «*workpiece*». Типовые формы задают параметрически или в виде совокупности образующей и направляющей. Особый случай представляют поверхности свободной формы, для которых определяют область, в пределах которой поверхность свободной формы размещается.

Системы ЧПУ, воспринимающие стандарт STEP-NC (ISO 14649), могут относиться к одному из трех типов. Первый базируется на традиционном использовании G-кодов (ISO 6983), т. е. по-

строен на основе обычной системы ЧПУ без каких-либо внутренних изменений. Управляющие программы ISO 14649 конвертируются в формат ISO 6983 на уровне постпроцессирования. Второй тип имеет встроенный интерпретатор ISO 14649, который интерпретирует управляющие программы самостоятельно. При этом какие-либо функции искусственного интеллекта отсутствуют. Третий тип (со встроенной системой искусственного интеллекта) является полномасштабным вариантом STEP-NC-CNC, располагающим следующими возможностями:

- реализация интеллектуальных сетевых функций системы ЧПУ, поддерживающих цепочку CAD-CAM-CNC, выполненную на основе модели ISO 14649;
- полная автоматизация цикла от наладки до измерения;
- возможность автономного управления объектом.

Управляющие программы ISO 14649 содержат самые разнообразные данные. Используя подобные данные, система ЧПУ способна генерировать траектории инструмента в соответствии с текущей цеховой ситуацией, а также самостоятельно составлять планы операции и адекватно реагировать на непредвиденные события.

## **2.2. Промышленные роботы и робототехнические системы**

Наиболее универсальным оборудованием, обеспечивающим гибкость автоматизированных производств, являются промышленные роботы (ПР).

*Промышленный робот* — это автоматическая машина, стационарная или мобильная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения двигательных и управляющих функций в производственном процессе.

*Манипулятор* — управляемое устройство для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении объектов в пространстве, оснащенное рабочим органом, предназначенным для непосредственного выполнения технологических операций и (или) вспомогательных переходов.

В данном определении под *перепрограммируемостью* понимается такое свойство ПР, как замена управляющей программы

автоматически или при помощи человека-оператора. К перепрограммированию относится изменение последовательности и (или) значений перемещений по степеням подвижности, а также управляющих функций с помощью средств управления на пульте устройства управления.

Структурная схема ПР, основные элементы конструкции и виды движений рабочих органов приведены на рис. 2.8.

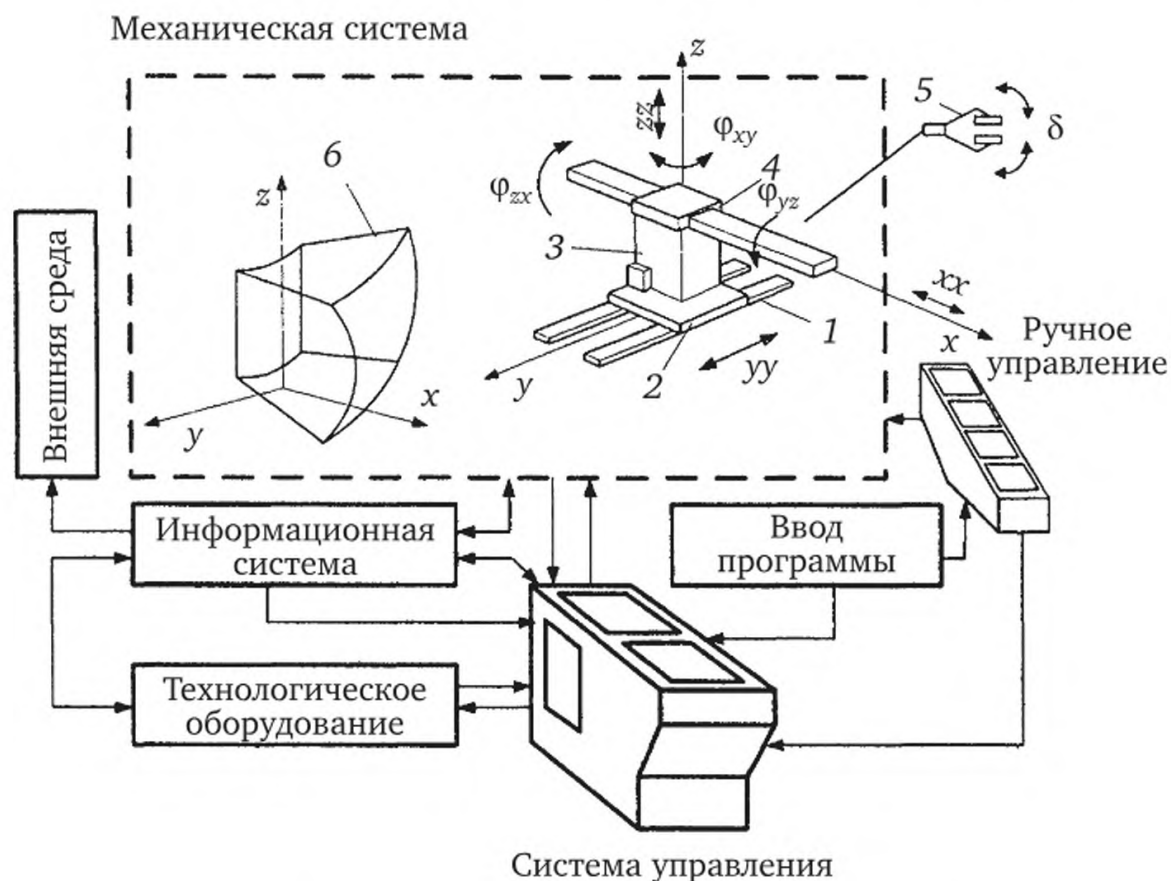


Рис. 2.8. Структурная схема промышленного робота:

1 — путепровод; 2 — основание; 3 — корпус; 4 — манипулятор; 5 — захватное устройство; 6 — рабочая зона и система координат основных движений ПР;  $xx$  — направление движения манипулятора вдоль продольной оси;  $yy$  — направление движения корпуса робота по путепроводу;  $zz$  — направление движения манипулятора вверх-вниз;  $\varphi_{xy}$  — угол поворота корпуса робота вокруг вертикальной оси,  $\varphi_{zx}$  — угол поворота руки в вертикальной плоскости;  $\varphi_{yz}$  — угол поворота захвата относительно оси  $xx$ ,  $\delta$  — направление движения захвата детали

Промышленные роботы являются универсальным средством автоматизации производственных процессов в условиях обширной номенклатуры и частой смены изделий. Они могут выполнять как основные, так и вспомогательные операции по обслуживанию технологического оборудования.

На базе ПР создаются *роботизированные технологические комплексы (РТК)*, являющиеся совокупностью единицы технологического оборудования, ПР и средств оснащения, которые функционируют автономно и осуществляют многократные циклы.

Средствами оснащения РТК могут быть устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи объектов производства и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТК.

При обслуживании основного технологического оборудования ПР осуществляют такие операции, как загрузка и разгрузка деталей, контроль, смена инструментов, уборка отходов, установка и смена средств контроля в автоматическом режиме. Широко распространено применение ПР для обслуживания складского оборудования. В транспортных системах ПР могут выполнять самостоятельные операции по перемещению и накоплению грузов, а также по обслуживанию конвейерных линий.

К ПР предъявляются следующие основные требования:

1) проведение работы в автоматическом режиме при осуществлении как основных, так и вспомогательных операций;

2) автоматическая перенастройка по управляющим командам при смене предметов производства;

3) соответствие уровня ПР типу выполняемых работ и рациональное сочетание сложности ПР со сложностью специального оборудования и оснащения, обеспечивающего его работу в автоматическом режиме;

4) сопрягаемость ПР по механической части, приводам и устройствам управления с оборудованием, в составе которого они будут работать;

5) наличие выходов на основное технологическое оборудование и оснащение, а также на верхние уровни управления;

6) надежность функционирования.

Для достижения надежности технологических систем с ПР необходимо применять резервирование и диагностику состояния отдельных составляющих или систем в целом.

Перед принятием решения о целесообразности использования конкретного ПР в данном технологическом процессе производится технико-экономический анализ и оценка различных вариантов применения ПР.

При выборе ПР для включения в систему ГАП используется техническая классификация промышленных роботов, в основу которой положено деление ПР по функциям, особенностям элементов и групп роботов. Схема технологической классификации ПР представлена в табл. 2.1.



Таблица 2.1

## Схема технологической классификации промышленных роботов

Группы	Общее исполнение						
	Подвижность	Грузоподъемность	Число манипуляторов	Система координат	Тип приводов	Исполнение	Точность позиционирования
А	Неподвижный	Сверхлегкие (до 1 кг)	1	Прямоугольная	Пневматический	Нормальное	Малая (ниже 1 мм)
Б	Подвижный напольный	Легкие (1—10 кг)	2	Цилиндрическая	Гидравлический	Пылезащитное	Средняя (0,1—1 мм)
В	Подвижный подвесной	Средние (10—100 кг)	Многоманипуляторный	Сферическая	Электро-механический	Теплозащитное	Высокая (выше 0,1 мм)
Г	Подвижный вертикального перемещения	Тяжелые (свыше 100 кг)	—	Комбинированная	Комбинированный	Пожаро- и взрывобезопасное	—

Группы	Подвижность				Управляемость			
	Степень универсальности	Степень подвижности	Ход манипуляторов	Быстродействие	Тип управления	Метод программирования	Объем памяти	Число внешних команд
А	Специальный	Малая (с числом степеней до 3)	Малый (до 300 мм)	Малое (линейная скорость до 0,5 м/с)	Цикловое программное	Обучением: ручное, полуавтоматическое, автоматическое	Малый (менее 100 кадров)	Малое (до 15)
Б	Специализированный	Средняя (4—6)	Средний (300—1000 мм)	Среднее (0,5—1 м/с)	Позиционно-программное	Аналитическое: автоматический расчет программ	Средний (100—600)	Среднее (15—60)
В	Универсальный	Высокая (6 и более)	Большой (свыше 1000 мм)	Большое (свыше 1 м/с)	Контурное программное	Самообучением: с участием оператора, в процессе работы	Большой (свыше 600)	Большое (свыше 60)
Г	—	—	—	—	Адаптивное	—	—	—

Классификационные особенности определяются общим исполнением, подвижностью и управлением ПР.

Общее исполнение ПР характеризуется подвижностью корпуса, грузоподъемностью, числом манипуляторов, системой координат, типом приводов, исполнением, точностью позиционирования и степенью универсальности.

Подвижность корпуса определяет исполнение ПР применительно к условиям работы корпуса робота в неподвижном или подвижном состоянии. Роботы с неподвижными корпусами используются как при обслуживании различного оборудования, так и при выполнении основных технологических операций. При этом они могут устанавливаться на подставках различных конструкций перед обслуживаемым оборудованием или непосредственно на нем. Эти ПР удобны в эксплуатации, но их технологические возможности ограничены пределами рабочей зоны манипулятора.

Подвижные напольные ПР перемещаются вдоль технологического оборудования на рельсовых направляющих или на автоматических тележках — *робокарах*. Подвижные подвесные ПР передвигаются по монорельсам, расположенным над обслуживаемым оборудованием. Подвижные ПР могут обслуживать несколько единиц технологического оборудования, расположенного вдоль трассы передвижения. Это расширяет технологические возможности ПР, но усложняет условия эксплуатации. Особую группу составляют ПР вертикального перемещения, использующие захватные устройства для пошагового или непрерывного перемещения по вертикальным и наклонным поверхностям.

Грузоподъемность определяет способность ПР брать, удерживать и транспортировать предметы с регламентируемой массой. Эта характеристика ПР наряду с подвижностью корпуса является одной из основных классификационных характеристик.

Сверхлегкие роботы грузоподъемностью не выше 1 кг в основном применяются на вспомогательных операциях и при сборке. Обычно они представляют собой простые специализированные пневматические ПР, обладающие высоким быстродействием.

Легкие роботы грузоподъемностью до 10 кг обладают средним быстродействием и более сложной кинематикой движений при различных типах приводов.

Средние роботы грузоподъемностью до 100 кг бывают специальными, специализированными и универсальными. Приводы у них обычно гидравлические, электромеханические или комбинированные, обеспечивающие скорость перемещений около 0,5 м/с.

Тяжелые ПР грузоподъемностью свыше 100 кг относятся, как правило, к группе специальных и специализированных. Движения реализуются гидравлическими и электромеханическими приводами с малым быстродействием.

Число манипуляторов наряду с быстродействием обуславливает производительность ПР. Одноманипуляторные ПР применяются для осуществления транспортно-установочных операций с высоким быстродействием или для обслуживания технологического оборудования при выполнении основной операции, требующей значительного машинного времени. Двухманипуляторные ПР используются для взятия, транспортировки, загрузки и разгрузки изделий при обслуживании оборудования с малым рабочим циклом. Два манипулятора позволяют совмещать операции загрузки и разгрузки, что сокращает продолжительность технологического процесса. Многоманипуляторные роботы относятся к группе специальных и используются в производствах, имеющих возможность одновременного обслуживания нескольких единиц технологического оборудования.

Система координат определяет технологические возможности ПР.

Прямоугольная система координат наиболее проста и обеспечивает перемещение захватного устройства ПР в зоне, имеющей форму параллелепипеда. Конструкции роботов с этой системой координат несложные и удобны для программирования. К недостаткам прямоугольной системы координат относится некоторое ограничение технологических возможностей, так как трудно брать объект манипулирования из мест со сложными подходами и подавать его в труднодоступные места, что часто бывает необходимо в процессе обработки детали. Использование прямоугольной системы координат, как правило, приводит к усложнению технологического оснащения для обслуживания ПР и к увеличению производственной площади.

Цилиндрическая система координат обеспечивает перемещение захватного устройства ПР в зоне, имеющей форму цилиндра. Конструкции ПР для этой системы координат также



относительно несложны, а технологические возможности несколько возрастают.

Сферическая система координат обладает наибольшими технологическими возможностями и обеспечивает перемещение захватного устройства ПР в зоне, ограниченной частью сферы. При этом ПР в основном имеют складывающийся манипулятор и занимают меньше производственной площади. Однако конструкции ПР с такой системой координат более сложные, так же как и способы их программирования.

Тип приводов определяется видом энергии, обеспечивающим перемещение отдельных звеньев ПР в нужном направлении. *Пневматические приводы* применяются в ПР с грузоподъемностью, как правило, до 10 кг и создаются на базе пневматических цилиндров. Преимущество подобных приводов заключается в простоте и надежности конструкции, а также дешевизне сжатого воздуха как вида энергии. Их недостатки, прежде всего, связаны со сложностью промежуточного позиционирования исполнительного механизма и управления скоростью при перемещении. *Гидравлические приводы* применяются в ПР с большой грузоподъемностью и создаются на базе гидравлических цилиндров и двигателей. Гидравлические приводы компактны и способны развивать большие усилия. Их технологические возможности расширяются за счет обеспечения регулирования усилий в исполнительных механизмах и скоростей перемещения. Недостатки данных приводов — небольшая быстроходность и повышенные требования к условиям эксплуатации, связанные с использованием жидкости в качестве рабочей среды.

*Электрические приводы* применяются в ПР с различной грузоподъемностью и создаются на базе электродвигателей постоянного и переменного тока, а также шаговых двигателей. Работы с электроприводами обладают наибольшей технологической гибкостью и хорошо стыкуются с обслуживаемым оборудованием. Они достаточно надежны в работе, просты в обслуживании, регулировании, не имеют трубопроводов, так как питаются электроэнергией. К их недостаткам можно отнести сравнительно низкие показатели удельной мощности.

*Комбинированные приводы* представляют собой различные сочетания рассмотренных типов приводов и создаются для расширения технологических возможностей ПР.

*Исполнение ПР* обуславливает возможность их использования в различных условиях эксплуатации.

Роботы нормального исполнения предназначены для обычных условий эксплуатации. Роботы пылезащищенного исполнения используются при повышенной запыленности согласно существующим нормам. Роботы теплозащищенного исполнения применяются на производствах с зонами повышенной температуры, таких, как термическое, кузнечно-прессовое и литейное производства. Роботы пожарозащищенного и взрывозащищенного исполнения предназначены соответственно для производств с повышенными уровнями пожароопасности и взрывоопасности. При этом особое внимание уделяется оборудованию, используемому для предотвращения аварийных ситуаций.

Роботы комбинированного исполнения объединяют в себе свойства, присущие рассмотренным выше исполнениям в требуемом сочетании.

*Точность позиционирования* обеспечивает точность выхода рабочего органа манипулятора в заданные точки, а также воспроизведения заданной траектории. При выполнении ПР основных технологических операций точность позиционирования должна соответствовать техническим требованиям на обработку или сборку изделий. Необходимо учитывать, что точность позиционирования меняется в зависимости от положения захватного устройства ПР в зоне манипулирования. На границах зоны уменьшение точности может происходить, в частности, за счет влияния упругой податливости звеньев манипулятора. Увеличения точности можно достичь уменьшением скорости перемещения ПР.

Для повышения производительности и понижения требований к точности самого ПР используют компенсационные элементы, обеспечивающие податливость в процессе захвата или установки детали в рабочее положение.

К роботам с малой точностью позиционирования относят ПР с погрешностью позиционирования более 1,0 мм. Они в основном используются на вспомогательных операциях, реже — на основных операциях, например при окраске.

К роботам со средней точностью позиционирования относятся ПР с погрешностью позиционирования от 0,1 до 1,0 мм. Они широко используются, так как в основном удовлетворяют

требованиям, предъявляемым к обслуживанию различных видов технологического оборудования.

Роботами с высокой точностью позиционирования являются ПР с погрешностью позиционирования менее 0,1 мм, используемые обычно при выполнении сборочных операций.

*Степень универсальности* обуславливает необходимый уровень соответствия ПР запланированным работам.

*Специальные ПР* предназначены обычно для выполнения одной операции. Они просты, экономичны и удобны в эксплуатации.

*Специализированные ПР* используются для выполнения однотипных операций, в пределах которых обладают необходимой гибкостью. Технологические возможности специализированных роботов, состоящих из унифицированных модулей, расширяются путем варьирования компоновки ПР в зависимости от конкретных требований производства.

*Универсальные ПР* предназначены для выполнения самых разнообразных операций при обширной номенклатуре изделий. Имеется возможность быстрого перепрограммирования роботов этого типа, но они соответственно дороже и сложнее в эксплуатации. Универсальные промышленные роботы обладают пятью и более степенями подвижности.

*Подвижность ПР* характеризуется степенью подвижности, ходом манипулятора и быстродействием.

*Степень подвижности* определяет способность ПР к выполнению сложных движений в процессе работы. Переносные степени подвижности осуществляют транспортные движения перемещением манипулятора. Ориентирующие степени подвижности устанавливают транспортируемый предмет в требуемое положение и в заданное место. Они реализуются с помощью конечного звена манипулятора и расположенных на нем приводов установочных перемещений.

Степени подвижности могут быть линейными и угловыми. Малая подвижность — с числом степеней подвижности до 3 — характерна для специальных ПР. Она упрощает конструкцию ПР, но одновременно ограничивает его возможности. Средняя подвижность — с числом степеней подвижности до 6 — характерна для специализированных и универсальных ПР, где вводятся ориентирующие степени подвижности. Высокая подвижность предполагает наличие более 6 степеней подвижности. В промышленном производстве целесообразность использова-



ния такого числа степеней подвижности возникает сравнительно редко.

*Ход манипулятора* обуславливает перемещение манипулятора при обслуживании оборудования или при выполнении основных технологических операций.

Манипуляторы с малым ходом (до 300 мм) предназначены в основном для сверхлегких и легких специальных и специализированных ПР.

Манипуляторы со средним ходом (до 1000 мм) применяются для промышленных роботов с различными грузоподъемностью и универсальностью.

Манипуляторы с большим ходом (более 1000 мм) предназначены для специализированных и универсальных ПР средней и большой грузоподъемности со сферической системой координат. Ход манипулятора в сочетании с переносными степенями подвижности определяет зону обслуживания ПР, являющуюся важным параметром при организации рабочего места. С увеличением хода манипулятора расширяется перечень обслуживаемого им технологического оборудования.

Быстродействие обуславливает среднюю скорость перемещения предметов номинальной массы при транспортировке. Увеличение быстродействия обеспечивает сокращение времени на обслуживание технологического оборудования и повышение производительности ПР. Быстродействие определяется скоростью соответствующих приводов манипулятора, значения которой в свою очередь зависят от массы груза, хода манипулятора и сложности траектории перемещения манипулятора.

Для подбора характеристики робота по быстродействию необходимо знать суммарную скорость перемещения рабочего органа, складывающуюся из скоростей отдельных приводов.

Малое быстродействие соответствует скорости перемещения до 0,5 м/с. Оно характерно для гидравлических ПР со средней и большой грузоподъемностью.

Среднее быстродействие, соответствующее скорости перемещения до 1,0 м/с, присуще ПР с различными системами приводов и широко используется при автоматизации производственных процессов.

Большое быстродействие соответствует скорости перемещения выше 1,0 м/с, которая используется весьма ограниченно в связи со сложностью эксплуатации соответствующих промышленных роботов.



Управление ПР характеризуется типом управления, методами программирования, объемом памяти и числом внешних команд программы.

Тип управления определяет возможности ПР по организации траекторий движения. Управление может быть программным и адаптивным. Программное управление в свою очередь подразделяется на цикловое, позиционное и контурное.

*Цикловое программное управление* обеспечивает обычно позиционирование с помощью механических упоров, располагаемых в крайних положениях по каждой степени подвижности. Для увеличения числа точек позиционирования применяют дополнительные промежуточные выдвижные упоры. Цикловые системы наиболее просты, дешевы и надежны в эксплуатации. Их недостатками являются малая универсальность и ограниченные технологические возможности.

*Позиционное программное управление* обеспечивает от десятков до сотен программируемых точек траектории движения по каждой степени подвижности. В этом случае при программировании задается соответствующий набор точек рабочей зоны, через которые последовательно должны пройти звенья манипулятора при выполнении программы. Позиционное управление повышает универсальность и технологические возможности ПР, однако не позволяет регулировать траектории между заданными точками.

*Контурное управление* позволяет производить перемещение манипуляторов ПР по непрерывным траекториям и с непрерывно программируемой скоростью движения. Системы контурного управления подразделяются на аналоговые и цифровые. В аналоговых контурных системах управления программа записывается на носитель аналоговой информации, например на магнитную ленту или магнитный диск. Эти системы просты, но имеют большой объем памяти и неудобны для сопряжения с ЭВМ. В цифровых контурных системах управления программа задается набором точек, а при воспроизведении интерполируется в аналоговый сигнал. Цифровые системы обладают повышенной точностью и удобством связи с ЭВМ. При расширенных технологических возможностях контурные системы относительно сложнее и дороже.

Комбинированные системы программного управления создаются для оптимального сочетания цикловых, позиционных и контурных типов управления.

*Адаптивное управление* обеспечивает расширение возможностей ПР за счет использования систем осязания на базе сенсорных устройств, позволяющих определять положение, конфигурацию и другие параметры объектов манипулирования и окружающей среды. В соответствии с полученными сигналами производится автоматическое изменение управляющей программы. Адаптивные ПР могут работать в условиях неопределенности без специальных приспособлений, например для ориентирования деталей перед захватом. При встраивании рассмотренных систем управления ПР в ГАП необходимо обеспечивать их стыковку с соответствующими уровнями локальной вычислительной сети.

Методы программирования работы ПР обеспечивают составление и ввод программы для управления ПР. В программе фиксируются последовательность осуществления движений, положение звеньев, время выполнения элементов движений, а также могут задаваться скорости перемещения звеньев, команды на внешнее оборудование, и усилия, связанные с выполнением операций.

В зависимости от способов ввода информации в устройство управления ПР различаются следующие основные методы подготовки программ: программирование обучением, автоматическое программирование и программирование самообучением.

*Программирование обучением* осуществляется при непосредственном участии оператора и является наиболее простым методом. Автоматическое программирование гарантирует заблаговременную подготовку программ с помощью автоматизированных систем.

*Программирование самообучением* может быть частичным и полным. При частичном самообучении автоматически создается укрупненная программа с отдельными элементами действия для определенных периодов работы. На ее основе устройство управления ПР разрабатывает остальную часть программы с учетом информации, получаемой от сенсорных устройств. При полном самообучении устройство управления ПР на основании задания цели и информации от сенсорных устройств формирует рабочие программы в реальном времени. Программирование самообучением применяется в ПР с адаптивным управлением.

Объем памяти устройства управления ПР определяет количество записанной управляющей информации в процессе

программирования, которая обычно представляется в виде кадров. *Кадры* — это отдельные элементы программы, состоящие из определенной группы команд и адресов, по которым выполняются команды и обеспечивается проверка их исполнения.

Малый объем памяти (до 100 кадров) имеют ПР с цикловым позиционным управлением с небольшим числом точек позиционирования.

Средний объем памяти (от 100 до 600 кадров) имеют ПР с позиционным и контурным управлением.

Большой объем памяти (свыше 600 кадров) имеют ПР с развитым контурным и адаптивным управлением.

Число внешних команд определяет возможности ПР по согласованию работы с внешним оборудованием. Число внешних команд может быть малым — до 15, средним — от 15 до 60 и большим — свыше 60 команд.

На базе рассмотренных ПР создаются *робототехнические системы*, среди которых можно выделить следующие основные классы:

- манипуляционные робототехнические системы;
- мобильные робототехнические системы;
- информационные и управляющие робототехнические системы.

*Манипуляционные робототехнические системы* наиболее распространены и подразделяются на три вида, включающие в себя:

— автоматически действующие роботы, автоматические манипуляторы и роботизированные технологические комплексы (РТК);

— дистанционно управляемые роботы, манипуляторы и РТК;

— непосредственно управляемые оператором манипуляторы.

*Мобильные робототехнические системы* представляют собой движущиеся платформы или шасси, перемещением которых управляет автоматика. При этом они кроме программы маршрута движения имеют датчики коррекции маршрута, а также могут автоматически нагружаться и разгружаться. Подклассом таких систем являются робототехнические системы для перемещения по вертикальным поверхностям.

*Информационные и управляющие робототехнические системы* — это комплексы измерительно-информационных и управляющих средств, автоматически производящих сбор, обработку



и передачу информации, а также использующих ее для формирования различных управляющих сигналов.

Различные классы робототехнических систем могут сочетаться в одном комплексе. Роботизация — это проблема, требующая решения вопроса о совместном использовании ПР с различным оборудованием при едином управлении от ЭВМ и встроенных микропроцессоров. Эта задача не только техническая, но и социально-психологическая. Поэтому кроме умения пользоваться новой техникой требуется понимание ее значения для будущей деятельности предприятия.

В составе основного технологического оборудования ПР обеспечивают автоматизацию операций взятия заготовок из накопительных и ориентирующих устройств, транспортировки и укладки их в тару или на промежуточные устройства для выполнения последующих операций. Использование ПР позволяет также осуществлять перенастройку технологического оборудования. При необходимости захвата рассредоточенных деталей требуется использование адаптивных роботов, способных производить распознавание положения деталей.

Операции по обслуживанию основного технологического оборудования часто требуют создания специальных захватных устройств ПР для различных типов и размеров деталей. В средствах инструментального обеспечения ПР производят автоматическую смену инструментов и инструментальных блоков по мере их износа или при переходе к обработке новой группы деталей.

В системах удаления отходов производства на металлорежущем оборудовании элементная стружка удаляется из зоны резания с помощью стружкоприемника, из которого она направляется в тару непосредственно или по конвейерной системе. Заполненная тара с помощью ПР выдвигается на позицию выдачи, заменяется новой, транспортируется к месту приема стружки, высвобождается и доставляется к месту хранения или к станку на позицию загрузки.

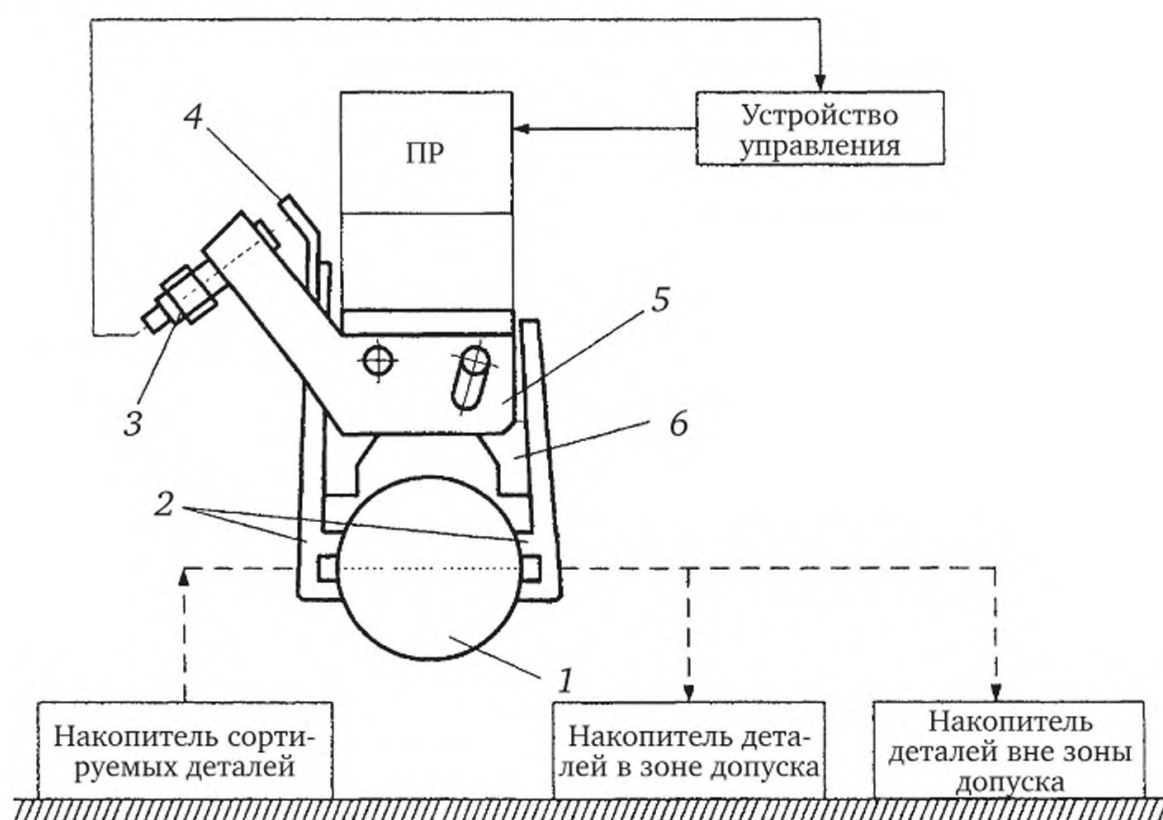
Удаление витой стружки осуществляют ПР, снабженные элементами технического зрения. Выведенная из зоны резания стружка подается в стружкоприемную часть с дробильными устройствами, а затем в тару.

Очистка установочных мест от стружки необходима для установки и крепления заготовок, а также палет с деталями. Для очистки могут использоваться мобильными ПР, конструк-



тивное исполнение которых определяется особенностями станков и инструментального оснащения.

Практически все области применения ПР включают в себя операции транспортировки и контроля. В ряде случаев для повышения эффективности использования ПР и увеличения производительности технологического процесса целесообразно совмещение выполнения указанных операций во времени. Примером может служить процесс сортировки деталей по допускам, широко распространенный и осуществляемый перед подачей деталей для обработки на основное технологическое оборудование. Если требуется выполнить сортировку деталей по габаритным размерам, можно использовать ПР по схеме, показанной на рис. 2.9.



**Рис. 2.9. Схема совмещения операций транспортировки и контроля при сортировке деталей:**

1 — контролируемая деталь; 2 — профильные губки; 3 — локационный датчик; 4 — ограничитель; 5 — измерительный кронштейн; 6 — шарнирно-рычажный механизм

Робот захватывает детали, нуждающиеся в сортировке, из подающего накопителя и транспортирует их в направлении приемных накопителей, одновременно производя контроль наличия в зоне допуска габаритного размера детали. По результа-

там контроля устройство управления ПР организует его движение соответственно к накопителю деталей, размеры которых находятся в зоне допуска, или к накопителю деталей, размеры которых выходят за пределы зоны допуска. Операция контроля производится после зажатия детали шарнирно-рычажным механизмом с профильными губками, вид которых выбирается в зависимости от формы детали. Поскольку положение ограничителя относительно датчика, закрепленного на измерительном кронштейне, обусловлено размерами детали, на выходе датчика вырабатывается информационный сигнал, анализируемый затем в устройстве управления. По результатам анализа принимается решение о выборе необходимой траектории движения ПР.

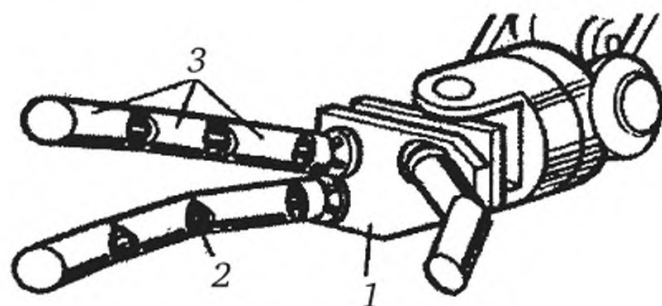
В качестве датчика можно использовать пневматический локационный измеритель, обладающий высокой точностью идентификации положения ограничителя. Гибкость выполнения операции контроля обеспечивается легкостью перенастройки конструкции на различные номинальные размеры деталей путем предварительной установки измерительного кронштейна в положение, определяющее рабочий зазор между датчиком и ограничителем. Чувствительность измерений регулируется изменением длины измерительного кронштейна. Из приведенного примера следует, что важное значение при автоматизации операций транспортировки и контроля имеет конструкция захватного устройства ПР.

*Захватные устройства* промышленных роботов служат для захватывания и удержания в определенном положении объектов манипулирования. Обычно ПР комплектуют набором типовых захватных устройств, которые можно менять в зависимости от требований конкретного рабочего задания. К числу обязательных требований относятся надежность захватывания и удержания объекта, стабильность базирования, недопустимость повреждений объектов, а также высокая прочность при малых габаритах и массе. Дополнительными требованиями являются возможность захватывания деталей в широком диапазоне массы, размеров и формы; легкость и быстрота замены захватных устройств; автоматическое изменение усилия удержания объекта в зависимости от массы детали; способность захвата неориентированно расположенных деталей.

Некоторые дополнительные требования можно удовлетворить, используя адаптивные захватные устройства, осна-

ценные датчиками внешней информации о наличии объекта манипулирования, его форме, размерах, массе, состоянии поверхности, усилии удержания, степени возможного проскальзывания и о других параметрах.

На рис. 2.10 представлен общий вид антропоморфного трехпалого захватного устройства, способного переносить хрупкие изделия небольшой массы со значительными отклонениями формы и размеров, например лампы.

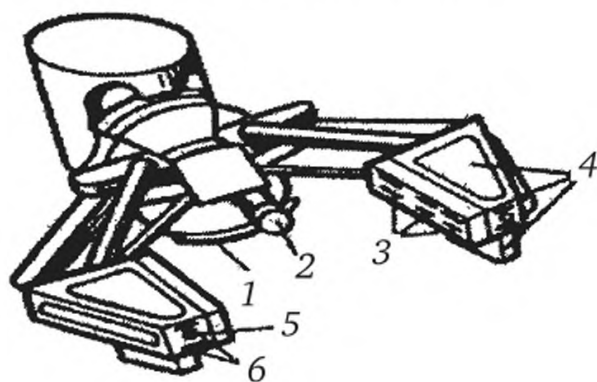


**Рис. 2.10. Захватное устройство с тросовым механизмом:**

1 — кисть, 2 — тросы, 3 — фаланги пальцев;

Движение пальцев осуществляется с помощью пропущенных внутри них тросов, что делает конструкцию компактной. Трехпалая кисть обеспечивает более десяти степеней подвижности двигателем постоянного тока, вынесенным за пределы хватного устройства.

На рис. 2.11, изображено адаптивное захватное устройство, способное зафиксировать соприкосновение с объектом и усилие удержания, а также ориентировать захватное устройство на объект посредством локации, что позволяет осуществлять поиск, распознавание и сборку объектов.



**Рис. 2.11. Адаптивное захватное устройство с тактильными датчиками:**

1 — рычаг; 2, 3, 6 — датчики давления; 4 — тактильные датчики;  
5 — фотодиод

Соприкосновение с объектом фиксируется с помощью шести тактильных датчиков, установленных на наружных сторонах устройства и построенных на основе микропереключателей. Усилие удержания контролируется посредством потенциометрических датчиков давления, смонтированных на губках и на рычаге между ними, а локация производится фотодиодами.

На рис. 2.12, в приведено устройство для захватывания неориентированно расположенных деталей типа плоских дисков.

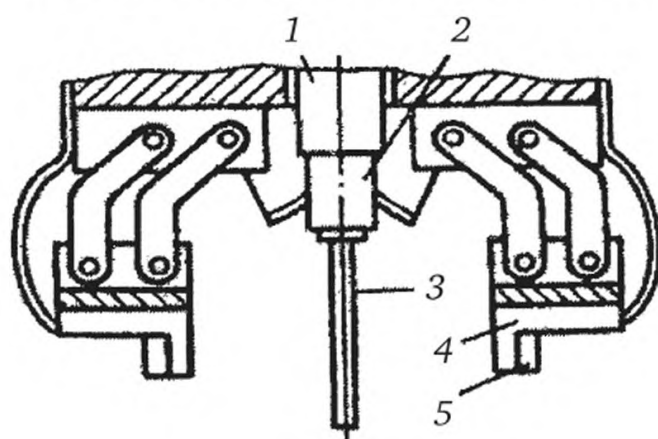


Рис. 2.12. Адаптивное захватное устройство с датчиками:

1 — выдвижной элемент, 2 — силовой датчик, 3 — щуп, 4 — зажимные губки, 5 — фотодальномеры

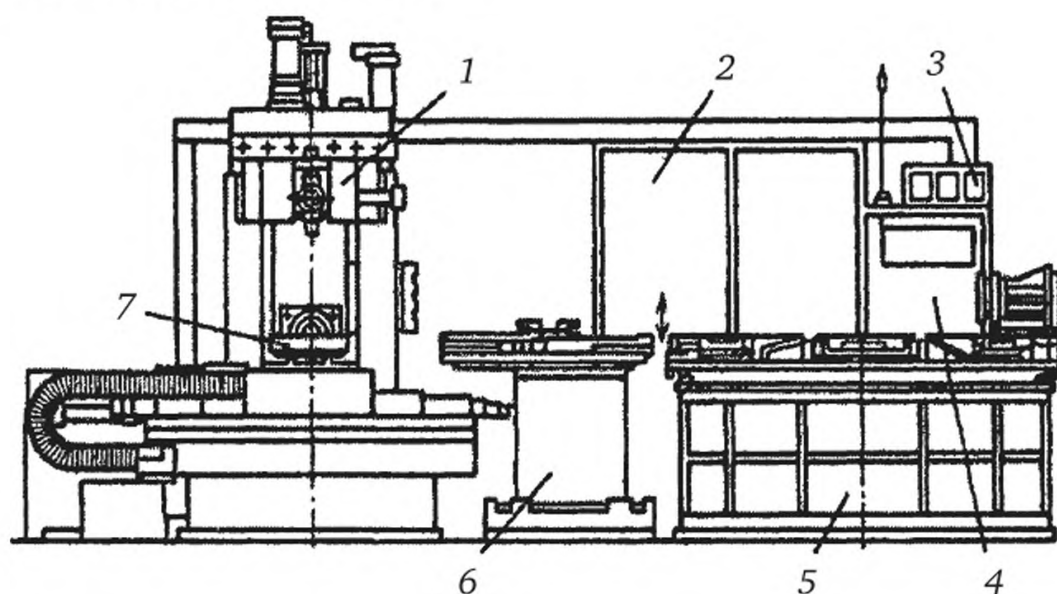
Выдвижной элемент с силовым датчиком соединен со щупом, а в торцах зажимных губок размещены фотодальномеры. При раскрытых губках и выдвинутом щупе проводится сканирование поля расположения деталей. При соприкосновении щупа с деталью с помощью датчика определяется ее положение путем нахождения направления нормали к цилиндрической поверхности объекта. После этого захватное устройство выводится на центр диска и поворачивается вокруг продольной оси манипулятора ПР, а фотодальномеры находят свободные участки наружной поверхности детали, которые могут быть использованы для ее захвата.

Различают два вида модулей ГАП — аппаратные и программные. Аппаратные модули реализуют различные технологические операции, а программные модули формируют программное обеспечение системы управления ГАП. Модульность обеспечивается широким применением стандартных средств аппаратно-программного интерфейса. К аппаратным модулям относится гибкий производственный модуль — единица технологического оборудования для производства изделий



произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик. Модуль имеет программное управление, автономно функционирует, автоматически осуществляет все функции, связанные с изготовлением изделий, может встраиваться в гибкую производственную систему.

Примером гибкого производственного модуля служит модуль для изготовления корпусных деталей на базе обрабатывающего центра (рис. 2.13).



**Рис. 2.13. Гибкий производственный модуль на базе многоцелевого сверлильно-фрезерно-расточного станка:**

1 — станок, 2 — электрооборудование, 3 — система управления измерением, 4 — устройство ЧПУ, 5 — накопитель спутников, 6 — устройство смены спутников, 7 — спутник

Составной частью модуля является накопитель столов-спутников с обрабатываемыми деталями, наличие которых автоматически контролируется с помощью датчиков. Устройство для замены режущего инструмента в магазине станка является самостоятельным узлом.

Инструмент заменяется автоматически по программе. Устройство доставляется на накопитель модуля и передается на поворотный стол станка по команде от центральной ЭВМ.

Стол с устройством перемещается, коническая оправка барабана вставляется в шпиндель станка и зажимается шариковым зажимом. После этого стол станка возвращается в первоначальное положение, а барабан с инструментом остается на шпинделе. Затем шпиндельная бабка с барабаном поднимается до зоны действия манипулятора смены инструмента,

осуществляющего переустановки инструмента из барабана в магазин станка и обратно. При полной замене инструмента шпиндельная бабка с барабаном опускается в нижнее положение, барабан закрепляется в устройстве, передается в накопитель и затем снимается с него.

Контрольно-измерительная система состоит из измерительной головки и блока обработки данных. Измерительная головка имеет аналоговую измерительную систему и преобразователь. Она находится в магазине станка и по команде программы вставляется в шпиндель вместо инструмента. Контроль осуществляется посредством контакта детали со щупом измерительной головки. Сигнал измерения передается в блок обработки данных, содержащий приемник, микропроцессор и устройство ввода для передачи коррекции в систему ЧПУ. Дальнейшая обработка измерений и выдача управляющих воздействий на коррекцию производятся системой ЧПУ.

В некоторых случаях контрольно-измерительную систему целесообразно реализовывать в виде самостоятельного гибкого модуля. Примером может служить автоматизация контроля листового материала, заготовки из которого имеют большие габариты и массу, причем их геометрические параметры должны измеряться с высокой точностью одновременно в нескольких точках. Структура такого модуля приведена на рис. 2.14.

Целью контроля в данном случае является сортировка листового материала из задела заготовок, находящегося на входе модуля. На выходе модуля по результатам измерения производится укладка заготовок соответственно в поддоны кондиционных или некондиционных листов. Работа модуля осуществляется следующим образом. Робот-укладчик захватывает верхнюю заготовку из стопы, находящейся в заделе, и помещает ее на контрольно-измерительный стол в рабочую зону измерений. На столе находятся датчики-преобразователи, установленные в требуемых по технологии точках контроля. Каждый датчик снимает информацию о геометрических параметрах заготовки относительно поля допуска и выдает результирующий сигнал на схему анализа ситуации. Если все сигналы с датчиков показывают соответствие заданным требованиям, то схема анализа ситуации через интерфейсную плату ввода-вывода посылает в управляющую ЭВМ сообщение, после которого начнет действовать программа укладки роботом заготовки в поддон для кондиционных листов с позиции на контрольно-измеритель-

ном столе. Если хотя бы один сигнал с датчиков-преобразователей указывает на выход контролируемого параметра за поле допуска, то реализуется программа укладки заготовки в поддон для некондиционных листов. После этого цикл измерений повторяется для следующей заготовки.

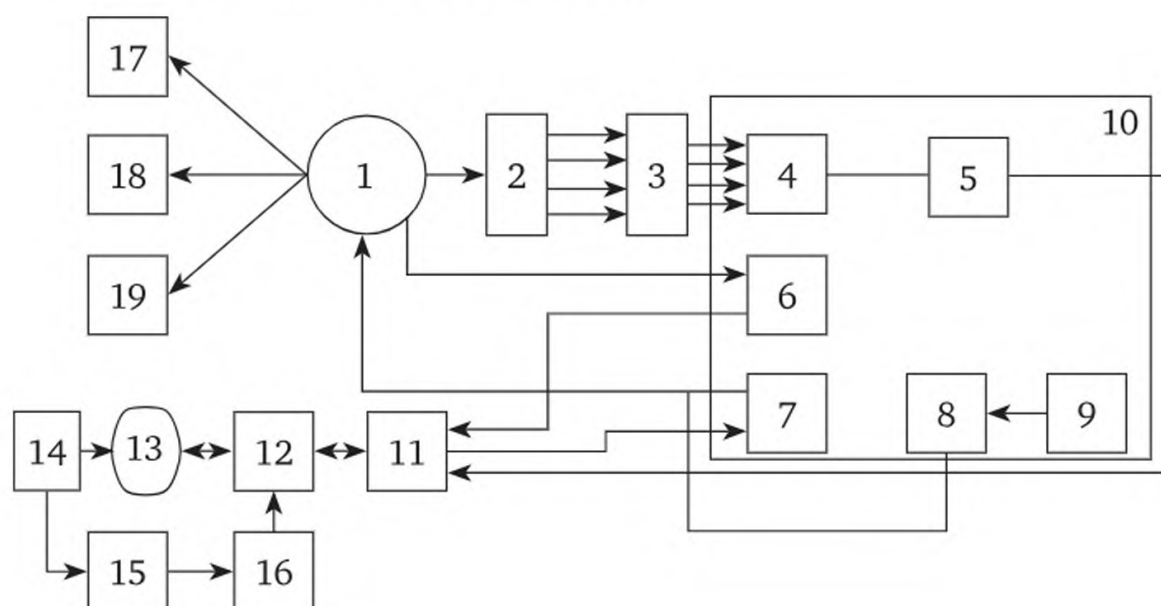


Рис. 2.14. Структура контрольно-измерительного модуля:

1 — робот-укладчик; 2 — контрольно-измерительный стол; 3 — датчики-преобразователи; 4 — схема анализа ситуации; 5, 6, 7 — оптронные развязки; 8 — тиристорная схема; 9 — пульт ручного управления; 10 — стойка управления; 11 — интерфейс; 12 — ЭВМ; 13 — дисплей; 14 — оператор; 15 — фотосчитыватель; 16 — устройство управления; 17 — задел заготовок; 18 — поддон кондиционных листов; 19 — поддон некондиционных листов

## 2.3. Системы автоматического контроля

Система автоматического контроля (САК) является важнейшим звеном автоматического производства в смысле обеспечения возможности реализации безлюдного технологического процесса.

Под техническим контролем понимается проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям. Технический контроль охватывает все средства производства и осуществляется посредством САК. Эта система решает следующие задачи:

1) получение и предоставление информации о свойствах, техническом состоянии и пространственном расположении

контролируемых объектов, а также о состоянии технологической среды и производственных условий;

2) сравнение фактических значений параметров с заданными;

3) передача информации о расхождениях с параметрами моделей производственного процесса для принятия решений на различных уровнях управления производством;

4) получение и предоставление информации об исполнении заданных функций.

Система автоматического контроля должна обеспечивать автоматическую перенастройку средств контроля в пределах заданной номенклатуры контролируемых объектов, полноту и достоверность контроля, а также надежность средств контроля. Динамические характеристики САК должны соответствовать динамическим свойствам контролируемых объектов.

Целью контроля может быть, с одной стороны, поддержание требуемого уровня качества продукции с помощью контроля параметров материала, заготовок, инструмента, приспособлений; режима изготовления, измерения и испытания изделия; параметров технологических средств и изделия, а с другой — поддержание в работоспособном состоянии всего автоматического оборудования, вычислительной техники и программного обеспечения путем контроля и диагностирования.

По виду решаемой задачи контроль может быть приемочным, профилактическим и прогнозирующим, а по взаимодействию с объектом — активным и пассивным, параметрическим и функциональным.

*Активный контроль*, в отличие от пассивного, позволяет исключить появление брака за счет своевременного введения корректирующих воздействий по результатам измерений. Параметрический контроль осуществляется посредством измерения значений параметров объекта контроля.

*Функциональный контроль* определяет способность правильного выполнения функций, возлагаемых на контролируемый объект, и осуществляется путем сравнения с заданными значениями выходных состояний объекта контроля, например электронной схемы. При этом может выполняться анализ и обработка результатов сравнения, а также диагностирование и поиск дефектов.

По конструктивному решению контроль подразделяется на внутренний и внешний. *Внутренний контроль* в отличие от внешнего позволяет проводить самоконтроль за счет встро-



енных средств, например датчиков состояния. Применительно к электронной аппаратуре в этом смысле часто используется термин *самотестирование*, когда при контроле объект функционирует не на рабочих, а на тестовых воздействиях. Соответственно по реализации во времени контроль может быть непрерывным, когда он производится в процессе функционирования объекта, и периодическим, когда используются тестовые воздействия.

В зависимости от условий производства осуществляется контроль, необходимый для обеспечения техники безопасности. Его основное назначение — профилактика или корректирование работы систем для обеспечения номинальных условий их эксплуатации. Например, пожаробезопасность обеспечивается своевременным обнаружением дыма или огня специальными датчиками. На технологическом оборудовании самоконтроль позволяет остановить систему в случае разрегулирования серводвигателя или зажимного патрона при наличии перегрузок или появлении постороннего предмета в зоне обработки.

Место САК в автоматическом производстве показано на рис. 2.15.



Рис. 2.15. Место САК в автоматическом производстве

Типовая структура САК включает три уровня (рис. 2.16).

Верхний уровень обеспечивает общий контроль совокупности автоматических ячеек для координации их взаимодействия, перенастройки и ремонта; выдачу информации на пульт

управления ГАП; решение задач по получению и обработке информации с автоматических ячеек, а также по самоконтролю.

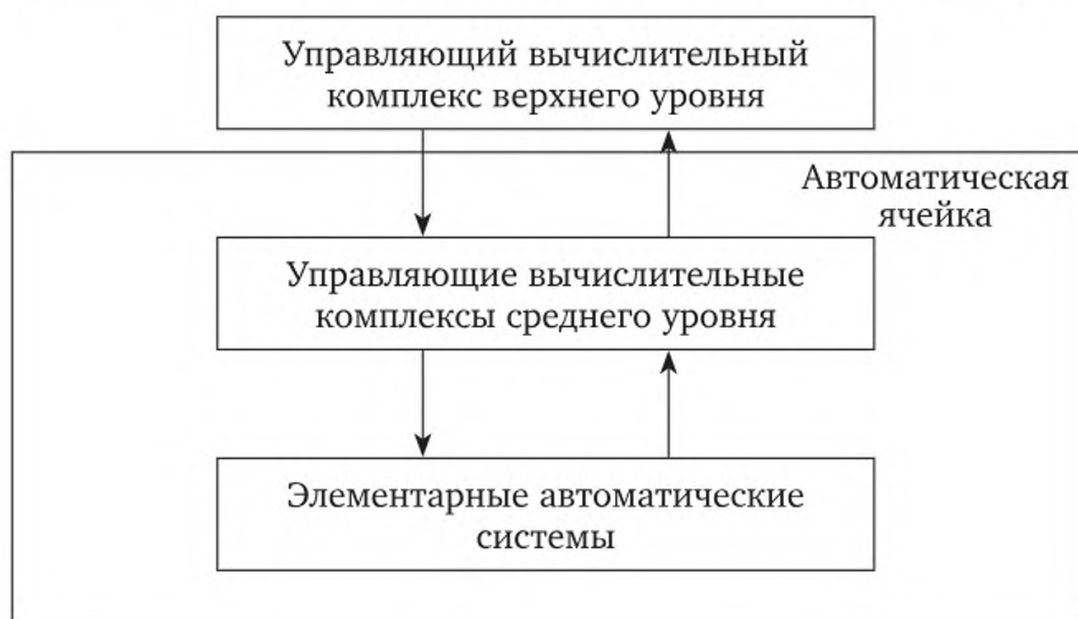


Рис. 2.16. Типовая структура САК

Средний уровень гарантирует контроль автоматической ячейки и предоставление на верхний уровень обобщенной информации о свойствах, техническом состоянии и пространственном расположении контролируемых объектов и составных частей ячейки. При этом решаются задачи по получению и обработке информации о контролируемых параметрах объекта, технологической среды и автоматической ячейки, а также по самоконтролю.

Нижний уровень обеспечивает контроль объектов обработки, технического состояния и пространственного расположения составных частей элементарной автоматической системы, которой может быть станок с ЧПУ, ПР или другое автоматическое оборудование. На этом уровне САК решает задачи по получению и преобразованию информации о контролируемых параметрах и функциях объекта обработки и составных частей элементарной автоматической системы; контролю за исполнением технологических переходов; передаче информации на средний уровень, а также в систему технического обслуживания для прогнозирования постепенных отказов инструмента и оборудования.

Контроль обеспечивающих систем может быть распределен по разным уровням в зависимости от конкретных условий производства.

Существует пять режимов функционирования САК: запуск, рабочий, наладочный, «плановый останов» и аварийный.

Режим запуска начинается с опроса всех элементов и систем ГАП. При этом проводится диагностика их технического состояния, дается команда на выход всех систем в начальное положение и контролируется ее исполнение, проверяются наличие и коды инструментов и заготовок. В процессе проверки система следит за устранением выявленных неисправностей. В режиме запуска задействованы все уровни контроля. На нижнем уровне системы определяются значения параметров и функции контролируемых компонентов элементарной автоматической системы и затем оценивается их соответствие заданным нормам. Информация о техническом состоянии и пространственном расположении компонентов элементарной автоматической системы передается в управляющую ЭВМ. Эта информация является основой для принятия решений о техническом состоянии средств обработки и объекта обработки. Техническое состояние самой управляющей ЭВМ контролируется ЭВМ высшего уровня.

Информация о техническом состоянии объектов обработки передается на ЭВМ для накопления и статистической обработки. Затем ЭВМ среднего уровня передает информацию о техническом состоянии автоматической ячейки и обобщенную информацию об объектах обработки на ЭВМ верхнего уровня. ЭВМ среднего уровня подвергается периодическому самоконтролю по сигналам с центральной ЭВМ и передает ей информацию о своем техническом состоянии. ЭВМ верхнего уровня подвергается периодическому самоконтролю и принимает решение о режиме функционирования САК по информации от автоматических ячеек.

В номинальном режиме САК обеспечивает контроль за качеством изготовления продукции; потоками изделий, инструментов, энергии, информации; функционированием вспомогательных систем (очистка от стружки, промывка, охлаждение, кондиционирование воздуха и др.); техническим состоянием всех элементов и систем ГАП.

В наладочном режиме управляющая информация поступает на ЭВМ верхнего уровня, которая принимает решения о реконфигурации системы контроля на среднем и нижнем уровнях. ЭВМ нижнего уровня устанавливает совокупность контроли-

руемых параметров и функций объектов обработки, а также нормы контроля.

Режим «планового останова» — специфический режим функционирования ГАП, предназначенный для обеспечения последующего запуска не с начального момента работы системы, а с момента ее останова. Обычно в данном режиме предусматриваются завершение операции обработки на станках, снятие и отправка деталей на накопители или склад, разгрузка и приведение роботов-автооператоров и штабелеров в необходимое для останова положение, запись состояния на носитель, отключение всех видов энергоносителей и всех пультов. Задача САК при этом состоит в контроле отработки сигналов управления. Кроме этого, поскольку реализация режима занимает некоторый промежуток времени, в течение которого элементы и системы ГАП последовательно прекращают функционирование, можно провести диагностику систем и выдать диспетчеру информацию для наладчиков и ремонтников.

Аварийный режим инициируется любым уровнем САК. На нижнем уровне он вызывается превышением допустимого брака, отклонением от нормы параметров либо элементарной автоматической системы, либо самих средств контроля. Сигнал об аварийном состоянии с каждого из уровней передается на более высокий уровень и отображается на пульте управления ГАП.

*Технические средства контроля* включают в себя измерительные преобразователи, аналого-цифровые преобразователи, сенсорные подсистемы технического зрения, автоматические тестеры и координатные измерительные машины.

*Измерительные преобразователи* являются первичными носителями информации и составляют важнейший класс устройств контроля. Измерительный преобразователь — это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки или хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. К измерительным преобразователям относятся *датчики*. Датчик состоит из первичного и вторичного преобразователей. *Первичный преобразователь* преобразует измеряемую величину в электрический выходной сигнал. *Вторичный преобразователь* преобразует выходной сигнал первичного преобразователя в сигнал стандартного диапазона выхода датчика.



В зависимости от конкретных условий эксплуатации к датчикам предъявляются самые различные требования, основными из которых являются следующие:

- однозначная зависимость выходной величины от входной;
- высокая чувствительность;
- стабильность характеристик во времени;
- соответствие динамических характеристик условиям измерений;
- помехоустойчивость и взрывобезопасность;
- технологичность конструкции;
- удобство монтажа и обслуживания.

Условная классификация датчиков приведена на рис. 2.17.

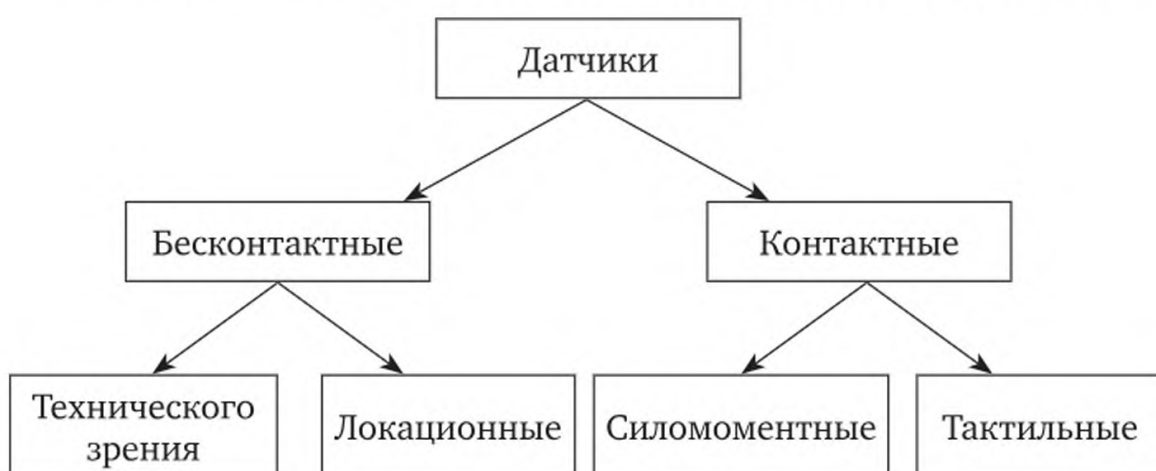


Рис. 2.17. Условная классификация датчиков

По способности восприятия информации на различных расстояниях от ее источника датчики делятся на бесконтактные и контактные.

*Бесконтактные* датчики позволяют определять в основном геометрические характеристики объектов с помощью технического зрения и локации.

*Контактные* датчики измеряют действующие силы и моменты, а также фиксируют координаты точек их приложения посредством силовых моментов и тактильных методов измерения.

*Техническое зрение* используется в промышленности на операциях распознавания и сортировки деталей, взятия деталей из навала, измерения координат движущихся деталей, определения ориентации деталей на сборочных и других участках производства, а также на операциях контроля качества деталей.

*Локационные датчики* используются для измерения в случае нецелесообразности или невозможности применения техниче-

ского зрения. Например, эффективна установка локационных датчиков в захвате ПР для слежения сварочной головки за траекторией шва. Использование локационных датчиков в качестве датчиков безопасности позволяет предотвращать столкновение подвижных частей технологического оборудования с предметами и людьми, случайно оказавшимися в рабочей зоне. Многообразие типов локационных датчиков представлено на рис. 2.18.

*Силомоментные датчики* применяются при выполнении механической сборки, абразивной зачистки и шлифовки изделий, где в процессе выполнения технологической операции необходимо измерять силы и моменты.

*Тактильные датчики* целесообразно использовать при поиске объектов, идентификации и определении их пространственного расположения; для обнаружения проскальзывания детали и при регулировании усилия захватывания детали, например, в захватном устройстве ПР.

Схема датчика определения направления и величины проскальзывания детали приведена на рис. 2.19.

Схема включает свободно вращающийся зубчатый шар, который отклоняет тонкий стержень, установленный на оси проводящего диска. Под диском равномерно расположены электрические контакты. Вращение шара, вызванное проскальзыванием по нему объекта, приводит к вибрации стержня и диска с частотой, пропорциональной скорости вращения шара. От направления вращения зависит, какой контакт будет задействован вибрирующим диском. Усредненное направление проскальзывания определяется по импульсам в соответствующих выходных электрических контурах.

Если контактное усилие не вызывает смещений и деформаций контролируемого объекта, то применяются щуповые методы контроля размеров и формы изделий. *Измерительные щупы* могут быть выполнены в виде как одиночных щупов для контроля по одной координате, так и трехкоординатных измерительных головок или головок со сменными щупами для контроля сложнопрофильных изделий.

Точечные электронные щупы позволяют проводить измерение, не останавливая движение измерительной головки, причем многопозиционные точечные щупы с гнездами для сменяемых наконечников могут контролировать все грани детали без изменения направления щупа.

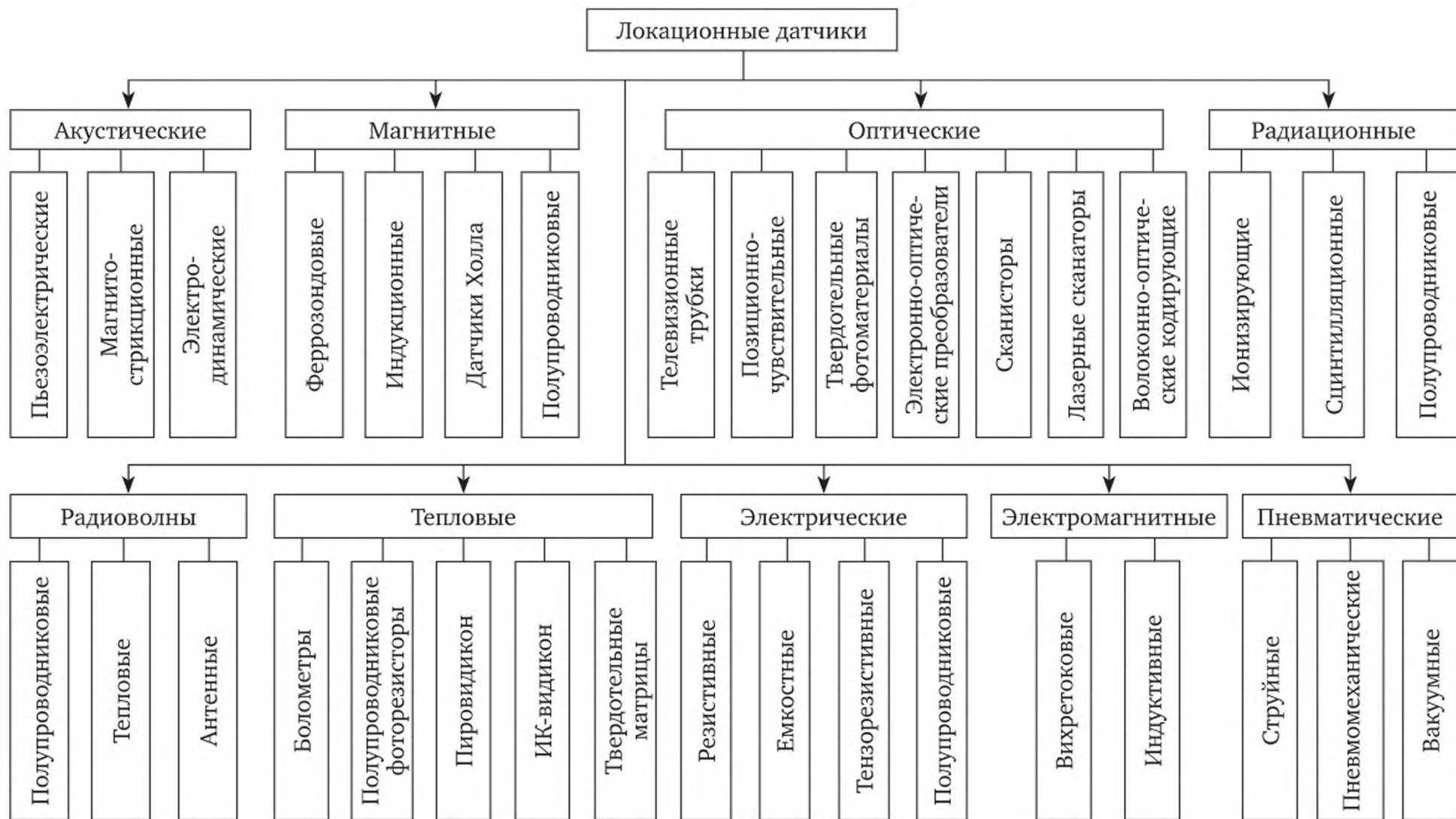
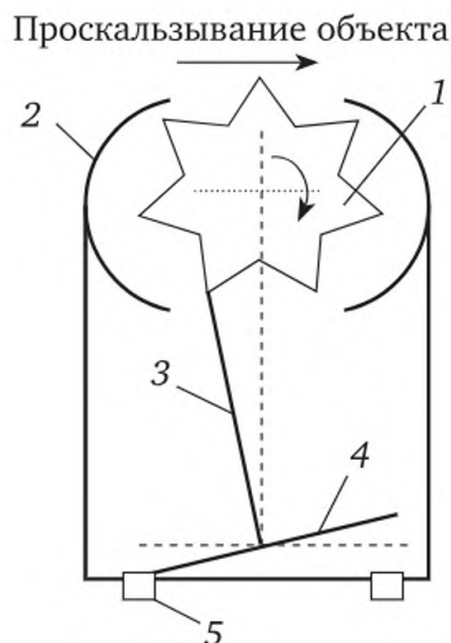


Рис. 2.18. Типы локационных датчиков

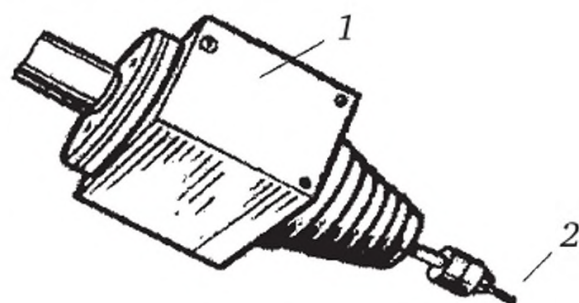


**Рис. 2.19. Схема датчика определения направления и величины проскальзывания:**

1 — зубчатый шар, 2 — корпус, 3 — стержень, 4 — диск,  
5 — электрические контакты

Электронные щупы для непрерывного сканирования осуществляют точное непрерывное измерение геометрических линий и поверхностей в трехмерном пространстве. Они позволяют повысить динамические характеристики измерительной машины.

На рис. 2.20 изображен внешний вид электронного щупа непрерывного сканирования.



**Рис. 2.20. Электронный щуп непрерывного сканирования:**

1 — корпус с преобразователем, 2 — измерительный наконечник

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) — это вид технических средств контроля, обеспечивающий преобразование аналоговых сигналов, поступающих с датчиков, в эквивалентные значения цифрового кода для последующей обработки.

К основным элементам аналоговой части АЦП относятся операционные усилители, компараторы напряжения, схемы



выборки и хранения, а также аналоговые ключи и коммутаторы, которые используются для коммутации аналоговых сигналов между источником и нагрузкой. Цифровая часть, реализуемая на логических комбинационных схемах, сдвиговых регистрах, счетчиках и других элементах, выполняет функции кодирования, запоминания, сравнения, сдвига и сложения цифровой информации.

Аналого-цифровые преобразования делятся на последовательные, параллельные и последовательно-параллельные. Способы преобразования в АЦП определяют достижимые значения их основных параметров, в частности таких, как время преобразования и число разрядов.

Сенсорные системы технического зрения представляют собой терминальные подсистемы предварительной обработки видеоинформации, которые могут взаимодействовать через стандартные линии связи с ЭВМ верхнего уровня. Они являются универсальным средством для решения широкого круга задач контроля качества, идентификации и обеспечения управления, в частности, сборочными операциями.

Характерным примером структурной реализации системы технического зрения является схема, приведенная на рис. 2.21.



Рис. 2.21. Схема системы технического зрения

В качестве рецепторных блоков используются несколько видеокамер, каждая из которых управляется платой аналогового интерфейса путем сравнения с пороговым уровнем для преобразования изображения в цифровое отображение. После сжатия по критерию значимости информация анализируется центральным процессорным блоком.

Подсистемы технического зрения способны идентифицировать детали на движущемся конвейере, распознавать ориентацию деталей и выделять перекрывающиеся детали. В процессе распознавания процессор рассчитывает параметры объекта и сравнивает их с данными, сформированными на этапе обучения.

*Автоматические тестеры (АТЕ)* — это автоматические контрольно-измерительные комплексы, в которых основной метод контроля заключается в подаче с помощью ЭВМ, являющейся внешней по отношению к контролируемому объекту, тестирующих воздействий с контролем путем сравнения с заранее заданным значением ответных реакций контролируемого объекта. В радиопромышленности, например, АТЕ используются для контроля интегральных схем и печатных узлов. Типовая секция формирования тестовых воздействий для АТЕ имеет в своем составе программируемые источники питания, генераторы и схемы коммутируемой подачи сигналов на тестируемый объект.

В состав измерительной части АТЕ обычно входят цифровые мультипликаторы, счетчики-таймеры и коммутируемые схемы приема выходных сигналов с тестируемого объекта. Как правило, все перечисленные устройства в блочном исполнении комплектуются ЭВМ. Конкретный состав блоков, их технические характеристики, возможности коммутации и перепрограммирования зависят от типа контролируемых объектов, а также от вида контроля. В составе АТЕ могут быть использованы внешние интерфейсы для включения АТЕ в локальную вычислительную сеть.

*Координатные измерительные машины (КИМ)* — это автоматическое средство высокоточных измерений, обладающее универсальной техникой программирования. Они могут не только измерять типовые поверхности, но и определять систему координат положения различных специальных поверхностей относительно базовых. Универсальные КИМ позволяют контролировать параметры корпусных деталей, валов, рычагов, втулок и других изделий, поверхности которых образуют

плоскости, цилиндры, конусы, сферы, а также линии пересечения различных поверхностей. При этом результаты измерений представляются в виде отпечатанных протоколов аттестации или оперативных сообщений на средствах отображения буквенно-цифровой и графической информации. Одновременно эти данные могут накапливаться в ЭВМ для последующей статистической обработки.

Обобщенная схема КИМ дана на рис. 2.22.

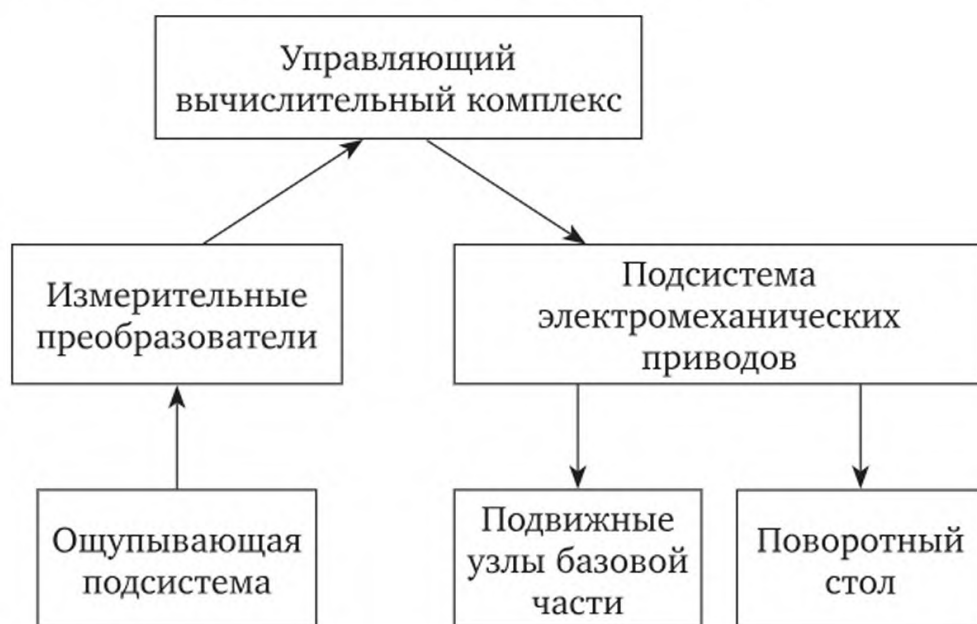


Рис. 2.22. Обобщенная схема КИМ

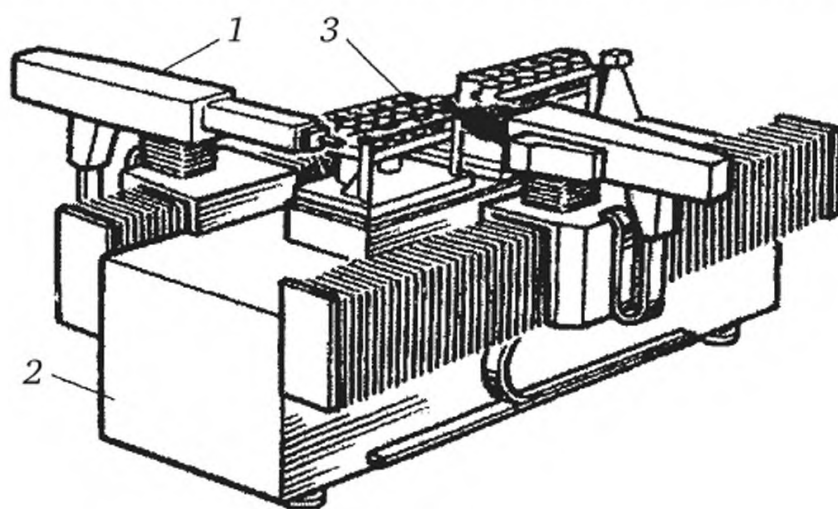
Координаты точек детали, измеряемой с помощью прямолинейных перемещений измерительных головок осязательной подсистемы, измеряются в декартовой системе координат. При этом начало координат выбирается свободно, а направления осей должны совпадать с направлениями перемещения подвижных узлов базовой части КИМ, несущих измерительные головки или измеряемую деталь.

С помощью встраиваемых поворотных столов можно обеспечить увеличение числа координатных перемещений за счет поворота измеряемой детали относительно координатных осей. Перемещения реализуются обычно подсистемой электромеханических приводов, а автоматическое считывание значений перемещений — измерительными преобразователями индукционного и фотоэлектрического типов. Вся обработка результатов измерения осуществляется управляющим вычислительным комплексом, в состав которого кроме ЭВМ, стандартных периферийных устройств и блока управления электро-

приводами входят нормирующие и другие необходимые виды преобразователей. К основным задачам обработки измерений относятся определение координат центров измерительных наконечников, формирование системы координат измеряемой детали и сравнение обработанных результатов измерений с эталонными данными.

На базе универсальных измерительных машин и унифицированных измерительных систем отдельных параметров изделий создаются *контрольно-измерительные ячейки*. Их использование позволяет повысить технико-экономические показатели САК при выходном контроле сложных изделий, например, сверхбольших интегральных схем.

При выносном контроле, обеспечиваемом контрольно-измерительными ячейками, широкое распространение получили измерительные машины для контроля линейных размеров, формы и взаимного расположения плоскостей. В измерительных ячейках, осуществляющих послеоперационный контроль, целесообразно использовать *измерительные роботы*, предназначенные для встраивания в технологические линии. На рис. 2.23 изображен внешний вид измерительного робота.



**Рис. 2.23. Измерительный робот:**

1 — манипулятор, 2 — станина, 3 — измеряемые детали

Такие роботы имеют манипуляторы, перемещающиеся относительно станины, и обладают высокими динамическими возможностями. Для повышения точности в них применяют компенсацию возможных ошибок программным способом по параметрам эталонной детали, записанным в памяти робота.



## 2.4. Автоматические транспортные системы

Автоматические транспортные системы вместе с автоматическими складами образуют единую автоматическую транспортно-накопительную систему (АТНС). Работа АТНС определяется качественными характеристиками производства и его функциональной направленностью.

Структура АТНС может быть подразделена на межцеховые, цеховые и локальные уровни (рис. 2.24).

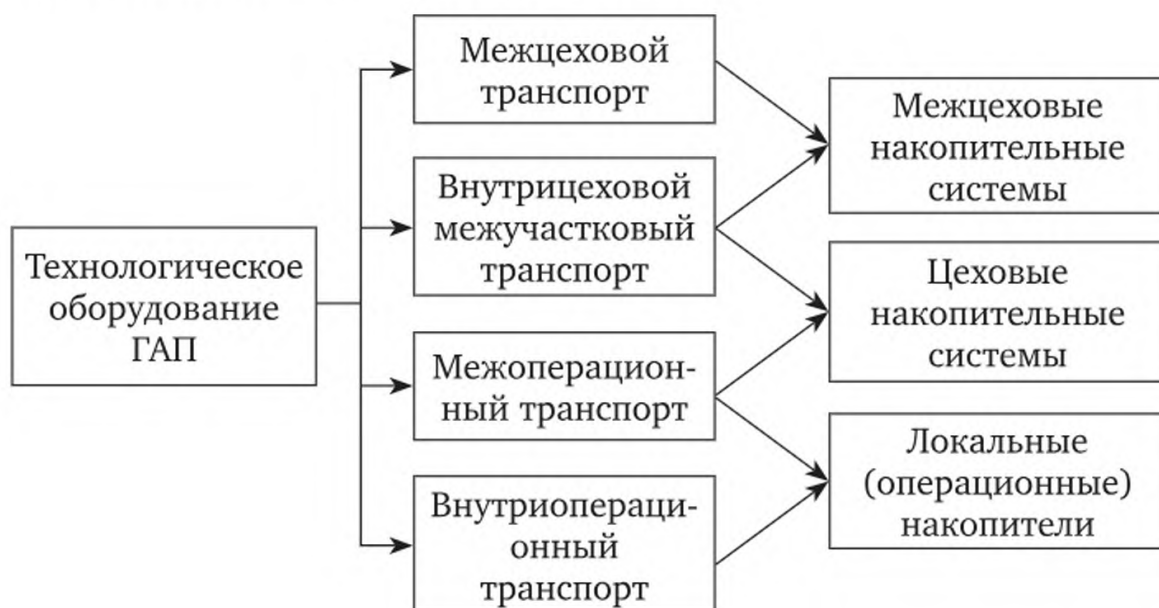


Рис. 2.24. Уровни транспортно-накопительной системы

Транспортные связи охватывают межцеховые, межучастковые и межоперационные грузопотоки, а также все элементы перемещений, включая ориентацию и установку заготовки, съем изделий и их кассетирование.

Автоматические склады, кладовые и операционные накопители выполняют функции буферных устройств, сглаживающих нарушение ритма работы технологического оборудования.

Грузопотоки промышленного предприятия имеют множество взаимно пересекающихся и разветвленных связей (рис. 2.25).

Местные накопители или склады содержат инструмент, оснастку, заготовки и тару. Оптимальный режим работы обрабатывающей ячейки задается многоуровневой системой управления ГАП, согласующей работу основного технологического оборудования, накопителей и транспорта. Готовые изделия, замененные или вышедшие из строя инструмент и оснастка,

а также отходы по командам системы управления транспортируются в накопители. При этом могут быть предусмотрены возвратные грузопотоки многооборотной технологической тары и оснастки.

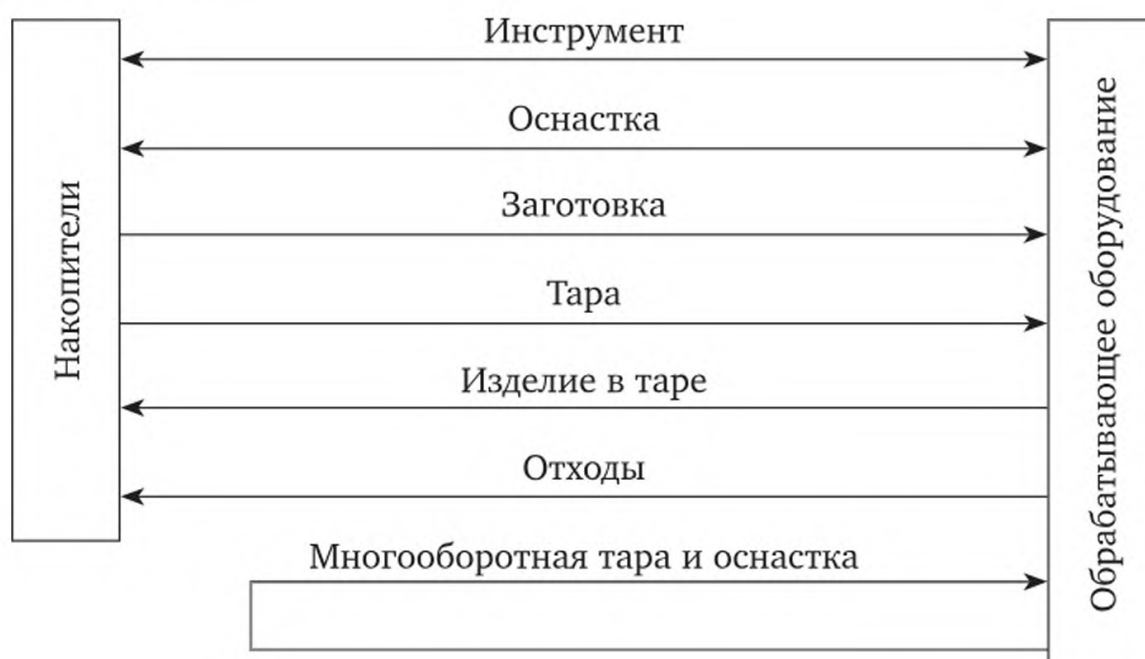


Рис. 2.25. Грузопотоки промышленного предприятия

Грузопотоки определяют выбор транспортных средств. Грузы в общем случае делятся на шесть классов:

- сыпучие,
- штучные длинномерные,
- штучные короткомерные,
- штучно-массовые,
- газообразные,
- наливные.

Исходя из транспортно-технологических характеристик грузы классифицируются по массе, размеру, форме, способу загрузки, виду и свойствам материала.

Классификация транспортируемых изделий по массе (кг) приведена ниже: миниатюрные (до 0,01 кг), легкие (до 0,5 кг), средние (до 16 кг), переходной массы (до 125 кг) и тяжелые (более 125 кг).

По способу загрузки грузы делятся на грузы в таре, без тары, ориентированные, кассетированные, в пакетах, на спутниках или транспортируемые навалом.

По форме грузы бывают: в виде тел вращения, корпусные, дискообразные, спицеобразные и т. д.

По виду материала грузы подразделяются на металлические (сталь, цветные металлы, сплавы) и неметаллические (керамика, пластмасса, стекло, дерево и т. д.).

По свойствам материала грузы делятся на твердые, хрупкие, пластичные и магнитные.

Грузопотоки подразделяются на *непрерывные* и *дискретные*, которые, в свою очередь, могут быть ответвленными, прямоточными, возвратными или обладающими теми и другими признаками.

На основе анализа грузопотоков выбирается соответствующая структура АТНС. При многорядном расположении оборудования наиболее целесообразна структура автоматической разгрузки с разветвлением трассы, позволяющая реализовать несколько функций одним транспортным средством (рис. 2.26).

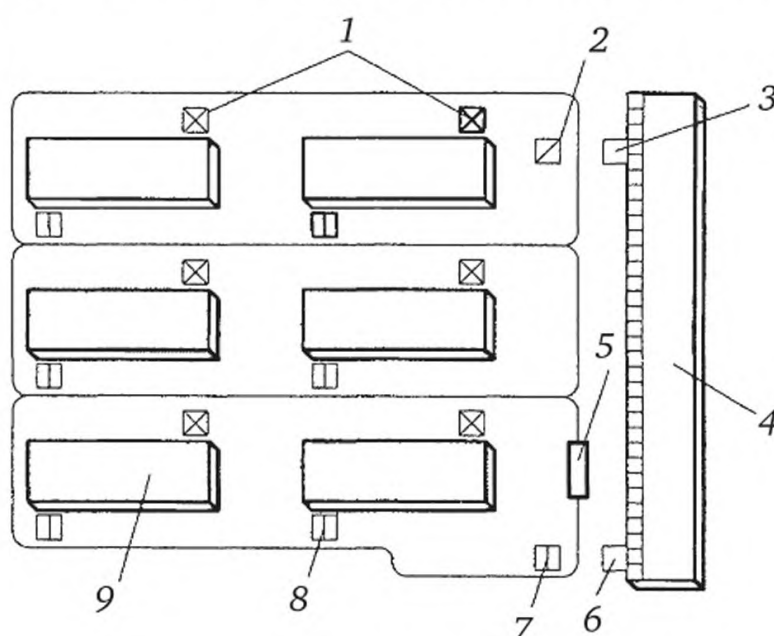


Рис. 2.26. АТНС с разветвленной трассой:

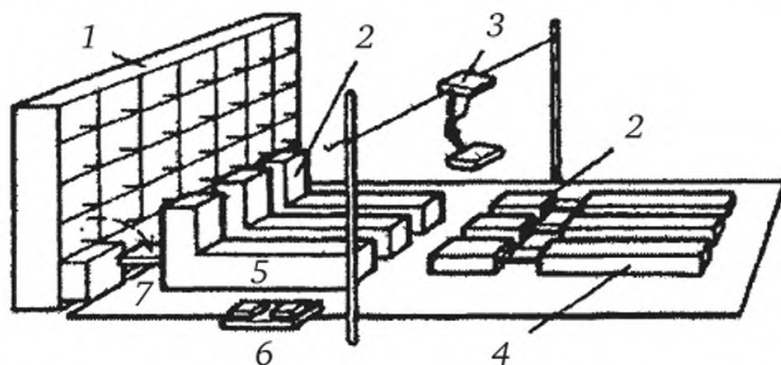
- 1 — накопители, 2 — система контроля размеров, 3 — перегрузочный стол, 4 — автоматический склад, 5 — тележка, 6 — приемный стол, 7 — стол для поддонов, 8 — поддоны для отходов, 9 — технологическое оборудование

С автоматического склада заготовки в маркированной таре с помощью автоматического штабелера подаются на перегрузочный стол, который служит приемной станцией тележки, снабженной устройством для загрузки и разгрузки. Это устройство передает заготовки на накопители, а готовые изделия забирает с них по мере необходимости и в соответствии с приоритетом в обслуживании.

Такая схема обеспечивает гибкость в управлении передачей заготовок с оборудования при наличии контроля их размеров. В тележке также перемещаются пустые поддоны для отходов. Для складирования поддонов предназначен специальный стол. Изделия в таре подаются на приемный стол, откуда автоматическим штабелером загружаются в свободные ячейки склада.

Число транспортных связей можно уменьшить путем рациональной компоновки накопителей в зоне расположения технологического оборудования. За счет отдельного применения складов заготовок и изделий упрощаются грузопотоки обрабатываемых деталей. Благодаря размещению инструментального склада и системы контроля вблизи технологического оборудования сокращается объем транспортировки инструмента и оснастки. Отходы передаются в централизованную систему удаления отходов, которая может быть независимой от транспортных средств.

Для повышения надежности работы гибкого автоматизированного производства сборки АТНС могут включать несколько видов накопителей или складов и несколько типов транспорта. Так, на рис. 2.27 представлена компоновка ГАП сборки, имеющая склад комплектации заготовок и хранения собранных изделий, а также локальные накопители, приближенные к технологическому оборудованию или встроенные в него.



**Рис. 2.27. Компоновка с использованием склада, локальных накопителей и двух типов транспорта:**

- 1 — склад комплектации заготовок и хранения собранных изделий; 2 — локальные накопители; 3 — подвесной робот; 4, 5 — технологическое оборудование, 6 — автоматическая тележка; 7 — заготовка

Накопители предназначены для создания страховых или технологических заделов и снабжены устройствами автоматической загрузки. Межоперационные перегрузки выполняются



подвесным роботом, а связь между модулями сборки и складом комплектующих изделий осуществляется автоматической тележкой.

Экономия производственных площадей достигается при объемной компоновке ячеек ГАП. При кратковременном хранении миниатюрных и легких изделий радиопромышленности в спутниках с фиксацией экономичны подвесные накопители.

Состав технических средств АНТС включает основные и вспомогательные средства (рис. 2.28).

К основному оборудованию АНТС относятся конвейеры, транспортные роботы, устройства пневмо- и гидротранспорта, склады, стеллажи, штабелеры, ПР, а также ЭВМ, микропроцессоры, датчики и пульта управления.

К вспомогательному оборудованию АНТС относятся ориентаторы, адресователи, толкатели, сбрасыватели, накопители, подъемные и поворотные координатные столы, подъемники, вибробункеры, перегрузочные тележки, питатели и тара.

Каждое из перечисленных технических средств АНТС подразделяется на различные типы в зависимости от назначения. Классификация основных типов конвейеров дана на рис. 2.29.

Ленточные, пластинчатые и роликовые конвейеры обеспечивают высокую надежность транспортных связей. Они дешевы и просты в исполнении. Для транспортирования отходов используют скребковые, пластинчатые и винтовые конвейеры. Скребковые конвейеры позволяют повысить эффективность выполнения операции транспортировки за счет одновременного измельчения отходов неподвижными ножами, зубья которых направлены против хода тягового органа под углом. После этого отходы передвигаются скребками к конечному участку конвейера, где проваливаются в приемные конвейеры через множество различных отверстий, расположенных в шахматном порядке, что позволяет сортировать отходы по фракциям.

В АНТС применяются монорельсовые дороги (*монорельсы*), выполняемые в виде подвесных дорог и обслуживающие междоусовые и внутрицеховые грузопотоки. Их преимущества — высокая экономичность, большой диапазон скоростей, возможности сокращения производственных площадей, автоматического адресования и использования программного управления.



Рис. 2.28. Состав технических средств АТНС

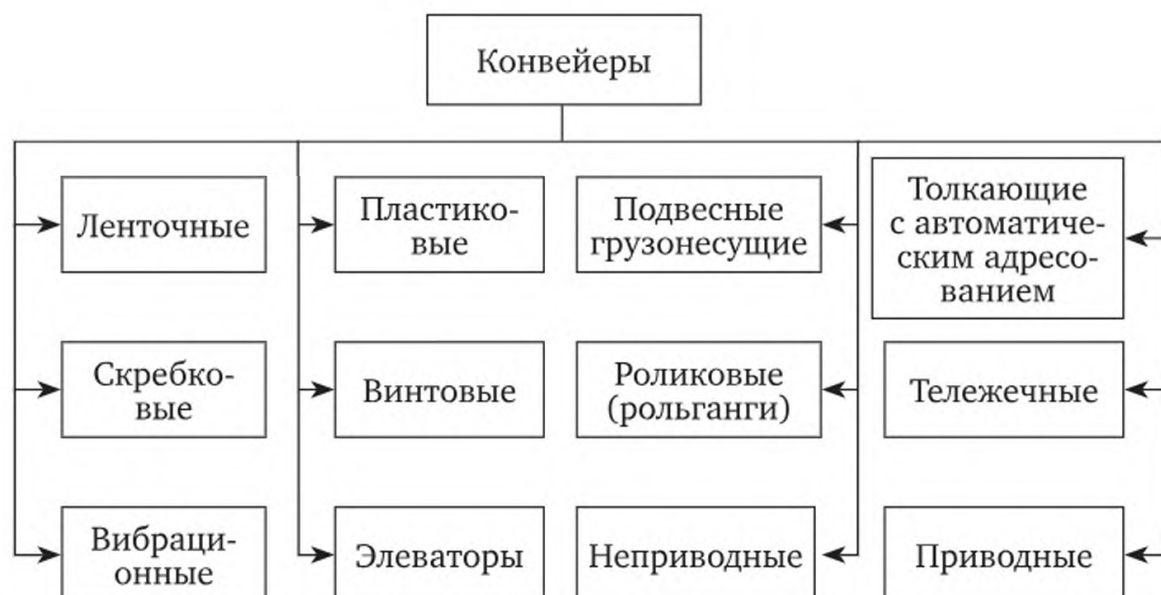


Рис. 2.29. Классификация основных типов конвейеров

По сложности схемы дорог подразделяются на элементарные, простые и сложные. Элементарная схема не имеет ответвлений, простая схема имеет до пяти стрелочных переводов, а сложная схема может иметь множество стрелочных переводов, поворотных кругов и межэтажных подъемников. Максимальная грузоподъемность монорельсовых дорог достигает 20 т.

Монорельс можно крепить непосредственно к несущим частям производственных зданий, применяя промежуточные балки. Существуют гибкая и жесткая формы подвесных путей. Гибкая форма позволяет балке свободно поворачиваться и смещаться. Управление подвижным составом монорельса включает операции по переводу стрелок, изменению скорости движения, остановки и согласование с работой накопительных и передаточных устройств.

К недостаткам монорельсовых дорог, так же, как и конвейеров, можно отнести сложность изменения длины и направления трассы, перехода на большую грузоподъемность и достижения высокой точности позиционирования.

Важную роль в создании АТНС играют *транспортные роботы*. Они являются гибким средством реализации межучастковых и межоперационных связей. Преимущества транспортных роботов заключаются в малых габаритах, большом диапазоне регулирования производительности, автономности и возможности освобождения проездов после окончания работы для других видов транспорта.

На рис. 2.30 показана классификация транспортных роботов.



Рис. 2.30. Классификация транспортных роботов

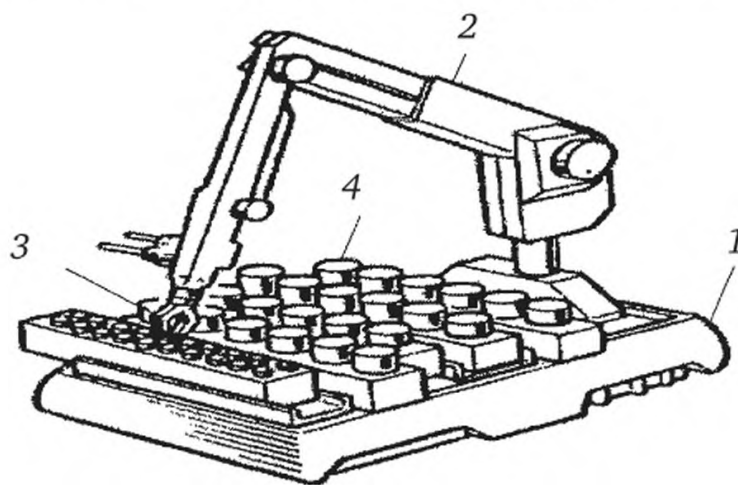
Все транспортные роботы делятся на напольные, вертикального перемещения и подвесные. Напольные транспортные роботы могут быть рельсовыми и безрельсовыми, а подвесные — монорельсовыми, консольно-крановыми и порталными. Роботы вертикального перемещения могут быть с дискретным и непрерывным движением.

В АТНС ГАП широко применяются напольные безрельсовые автоматические тележки, которые могут быть грузонесущими и тянущими. К последним относятся тягачи и буксиры с прицепами. Безрельсовые грузонесущие автоматические тележки имеют широкие возможности за счет простоты создания новых транспортных путей и оснащения их устройствами автоматизации погрузочно-разгрузочных операций, указанных в классификации. Транспортные роботы можно оборудовать подъемными, подъемно-поворотными столами и выдвижными штангами для подъема и фиксации на нужной высоте поддонов с грузами или кассет с заготовками.



В корпусе автоматической тележки монтируются электроприводы движения и поворота, питающиеся от аккумулятора, и устройство управления движением и подъемом на основе бортовой ЭВМ, устройство маршрутослежения, например оптоэлектронного типа, и датчики контроля за состоянием узлов. Для обеспечения безопасности эксплуатации применяется механическая система отключения привода от дуги безопасности, срабатывающая в случае прикосновения к препятствию. Отсчет пройденного пути производится с помощью датчика, работающего от колеса тележки. Информацию о маршруте движения тележка получает на станциях останова, размещенных у склада и технологического оборудования, посредством оптоэлектронной системы обмена информацией без электрического контакта. Маршрутослежение осуществляется по светоотражающей полосе, проведенной вдоль трассы движения. Тележка в автоматическом режиме может подходить к станции подзаряда аккумуляторов после окончания работы.

На рис. 2.31 приведена конструкция тележки с манипулятором, выполняющим погрузочные и разгрузочные операции.



**Рис. 2.31. Вариант исполнения тележки с манипулятором:**

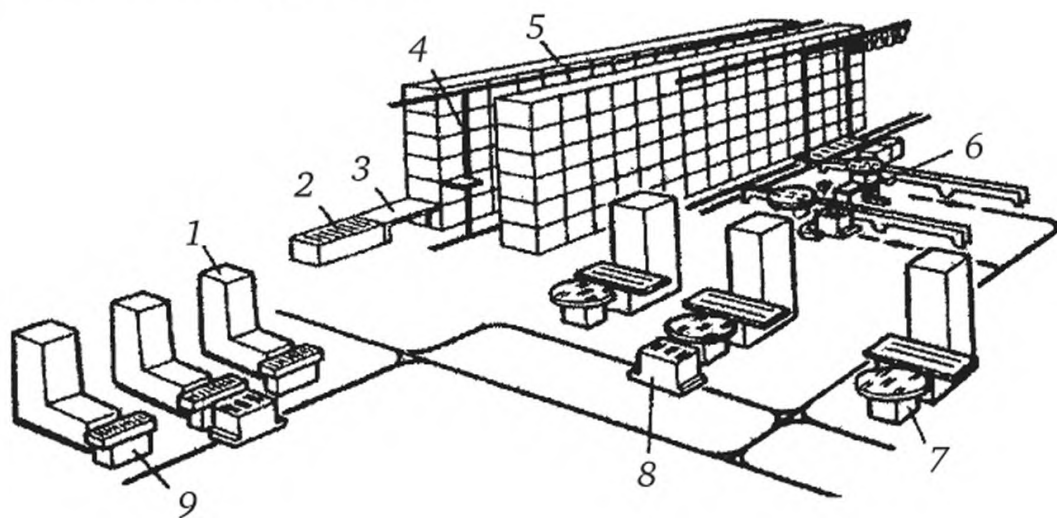
1 — мобильная платформа, 2 — манипулятор, 3 — захватное устройство, 4 — детали

Робот имеет устройство, предназначенное для захвата спутников с деталями и установки их на приемные столы. Управление тележками производится от бортовой ЭВМ. Оптоэлектронная система маршрутослежения может состоять из световых маяков, расположенных в требуемой последовательности на потолке производственного помещения, и датчиков на приборах с зарядовой связью, установленных на работе. Тележка во вре-

мя движения ориентируется на световые маяки или на специальные метки на технологическом оборудовании, предназначенные для точного позиционирования тележки относительно него. Модульность конструкций тележки и робота позволяет компоновать различные модификации их сочетаний.

Безрельсовый автоматический транспорт может использоваться в технологических поточных линиях сборки, когда заготовка на тележке по ходу движения оснащается узлами и деталями вплоть до выхода готового изделия. В производстве миниатюрных и легких изделий радиопромышленности несколько автоматических тележек с автоматическим адресованием могут обслуживать подвесную транспортную систему. При этом пространственная компоновка трассы включает в себя горизонтальные и вертикальные участки, а также площадки стрелочных переходов. В пределах каждого этапа трасса образует замкнутую кольцевую линию, движение по которой осуществляется в одном направлении. На каждом этаже межэтажных участков трассы имеются поворотные устройства для замыкания внутриэтажного контура трассы и подвода тележек на вертикальные треки в зависимости от адреса.

Фрагмент компоновки АТНС с тремя транспортными роботами показан на рис. 2.32.



**Рис. 2.32. Фрагмент компоновки АТНС с тремя транспортными роботами:**

- 1 — обрабатывающие центры, 2 — транспортер, 3 — приемный стол,  
4 — штабелер, 5 — автоматический склад, 6 — участок контроля,  
7 — поворотные столы, 8 — транспортные роботы, 9 — загрузочные  
транспортеры

С автоматического склада штабелер передает заготовки на приемный стол, где они крепятся на унифицированных па-

летах. По мере необходимости с помощью транспортера палеты загружаются на один из трех автоматических транспортных напольных роботов, обслуживающих загрузочные транспортеры обрабатывающих центров, и загрузочные поворотные столы других многоцелевых станков с ЧПУ. Готовые изделия передаются транспортным роботом на участок контроля или на следующий участок — участок производства. Для маршрутослежения используется индукционная система. В ней информация о направлении движения, поворотах и остановах передается от управляющей ЭВМ по индукционному кабелю, вдоль которого движется транспортное средство.

Для межоперационного транспортирования изделий можно применять монорельсовые транспортные роботы. Они состоят, как правило, из электротележки, перемещающейся по монорельсу, и установленного на ней ПР. Такие транспортные роботы отличаются от монорельсовых подвесных дорог с тележками автоматического адресования тем, что имеют устройство для манипулирования изделиями и тарой. Это позволяет выполнять различные элементы технологических операций, такие, как ориентация, укладка, перенос и перестановка изделий и тары по программируемой траектории, загрузка и разгрузка подвесок грузонесущих конвейеров, а также загрузка технологического оборудования.

Системы управления транспортно-накопительными системами в общем случае имеют иерархическую структуру обработки информационных потоков, состоящую из нижнего и верхнего уровней.

Нижний уровень системы управления АТНС включает локальные устройства автоматизации и управления транспортным оборудованием, штабелерами и транспортными роботами. На этом уровне обеспечивается:

- управление приводами транспортных систем;
- точное позиционирование транспорта у рабочего места;
- останов транспорта при аварийных ситуациях;
- загрузка и разгрузка накопителей;
- выработка и передача сигнала для контроля и диагностики.

Верхний уровень системы управления АТНС осуществляет:

- задание маршрутов движения транспорта (адресование);
- контроль и диагностику неисправностей;
- учет движения груза.

К устройствам управления и автоматизации нижнего уровня предъявляются требования полной автоматизации транспортного процесса, сопряжения с системой управления верхнего уровня, адаптируемости к изменению транспортных потоков, модульности построения, высокой надежности устройств автоматики (наработка на отказ не менее 5000 ч), наличия на выходе унифицированного сигнала, контроля правильности работы.

В комплекс технических средств системы управления нижнего уровня обычно входят датчики, предназначенные для определения наличия или отсутствия груза, а также датчики положения транспорта, уровней для накопительных систем, усилий, безопасности и другие измерительные приборы. Использование ЭВМ позволяет реализовать логические функции управления (адресование, блокировку, переключение режимов работы приводов, управление приводами) не аппаратным, а программным путем. ЭВМ обеспечивает связь с верхним уровнем управления и придает системе гибкость и модульность. Связь ЭВМ с датчиками и исполнительными механизмами осуществляется с помощью устройства ввода-вывода.

Система автоматического контроля и диагностики работы АТНС предназначена для обеспечения бесперебойного функционирования оборудования грузопереработки и его эксплуатационной надежности путем оперативного обнаружения критических и аварийных ситуаций. Система контроля и диагностики осуществляет сбор информации о состоянии наиболее ответственных узлов АТНС и элементов системы управления, обрабатывает эту информацию по заданному алгоритму, принимает решения о возможности дальнейшего функционирования составляющих элементов АТНС и выводит информацию о неисправностях на пульт управления и индикации. Система функционирует в режимах диагностирования начального состояния АТНС и систем управления, тестовой диагностики и диагностирования текущего состояния оборудования АТНС.

В режиме диагностирования начального состояния оборудования АТНС и систем управления определяется готовность всего комплекса оборудования к началу работы. В этом режиме производится контроль цепей электропитания и управления, исходного состояния отдельных узлов АТНС, правильности исходных сигналов от датчиков положения и адресации. Диагностирование проводится в начале каждого рабочего дня перед пуском транспортно-накопительного комплекса.



Задачами режима *тестовой диагностики* являются проверка работоспособности основных составляющих АТНС при воздействии на них тестовых программ, а также профилактическое выявление неисправных узлов системы, параметры которых близки к отказу. Программа включает контроль за прохождением технологических команд на элементы АТНС с измерением уровня ответных сигналов и проверкой последовательности и времени их получения. В результате отработки тестовой программы на пульте оператора высвечиваются номера узлов подсистем, режимы которых не соответствуют задаваемым значениям по критериям работоспособности и прогнозирования. Данная проверка проводится перед началом работы комплекса после диагностики его состояния.

В режиме диагностирования текущего состояния оборудования АТНС контролируется правильность выполнения управляющих программ в наиболее информативных узловых точках. В память диагностического устройства вводится программа, содержащая информацию о заданных состояниях оборудования системы и элементах системы управления, соответствующих каждому шагу управления. В момент перехода к следующему шагу происходит сравнение текущих и заданных параметров с одновременным измерением времени отработки данного шага.

## **2.5. Автоматизированные складские системы**

*Автоматизированная складская система* предназначена для приема, хранения, выдачи в производство и учета исходного сырья, основных материалов и заготовок, вспомогательных материалов, порожней тары, инструмента и приспособлений, сменных захватных устройств и запасных частей для станков и ПР, а также для накопления и временного хранения готовых изделий и отходов производства с целью обеспечения эффективного производственного процесса.

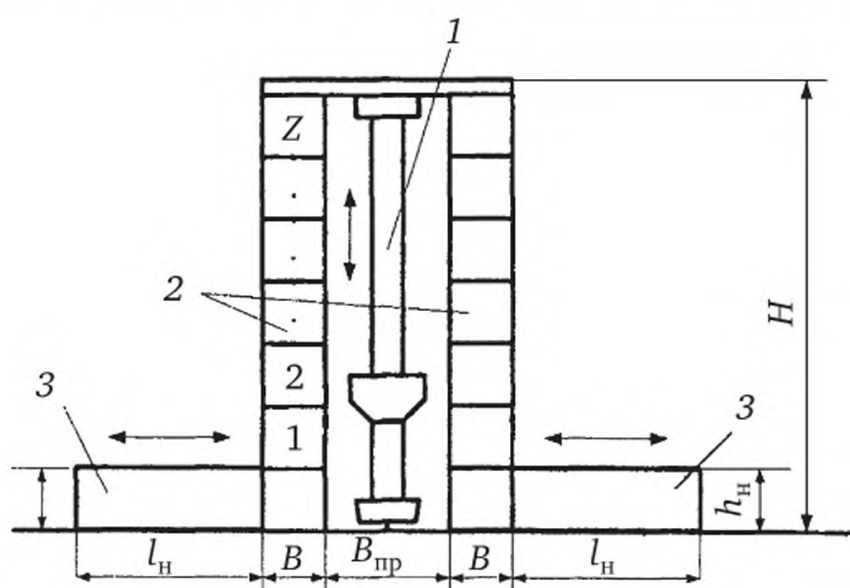
*Автоматические склады* осуществляют взаимодействие производства с внешними по отношению к нему системами промышленного предприятия, например с другими производственными подразделениями и внутризаводским транспортом.

Автоматический склад может включать в себя различные сочетания технологических участков:

- зоны хранения груза;
- участков приема и выдачи грузов на внутризаводской транспорт;
- участков укладки деталей или изделий в транспортно-складскую тару;
- участков приема и выдачи грузов из зоны хранения;
- участков приема и выдачи грузов на внутрисистемный транспорт.

Через склады проходят все материальные грузопотоки. Автоматические склады подразделяются на стеллажные и конвейерные.

Схема стеллажного склада с автоматическим стеллажным краном-штабелером и двумя стеллажами приведена на рис. 2.33.



**Рис. 2.33. Схема стеллажного склада с автоматическим стеллажным краном-штабелером и двумя стеллажами:**

1 — автоматический стеллажный кран-штабелер, 2 — стеллажи,  
3 — накопители

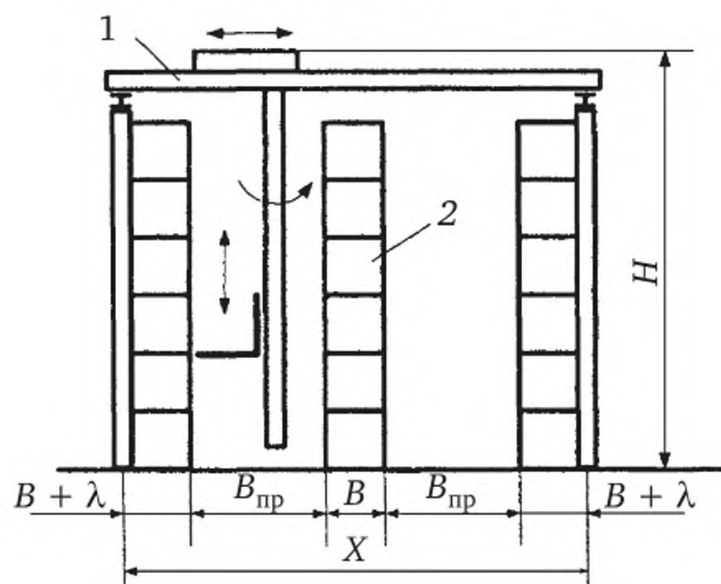
Основными параметрами склада являются ширина стеллажа  $B$ , ширина прохода для крана-штабелера  $B_{\text{пр}}$ , длина накопителя  $l_{\text{н}}$ , высота склада  $H$  и высота накопителя  $h_{\text{н}}$ .

Схема стеллажного склада с автоматическим мостовым краном-штабелером и тремя стеллажами приведена на рис. 2.34.

Дополнительными параметрами этого склада являются ширина склада  $X$  зазор между грузом и стеллажом  $\lambda$ .

Широкое распространение складов с автоматическими стеллажными кранами-штабелерами объясняется их высокой производительностью, компактностью и легкостью автомати-

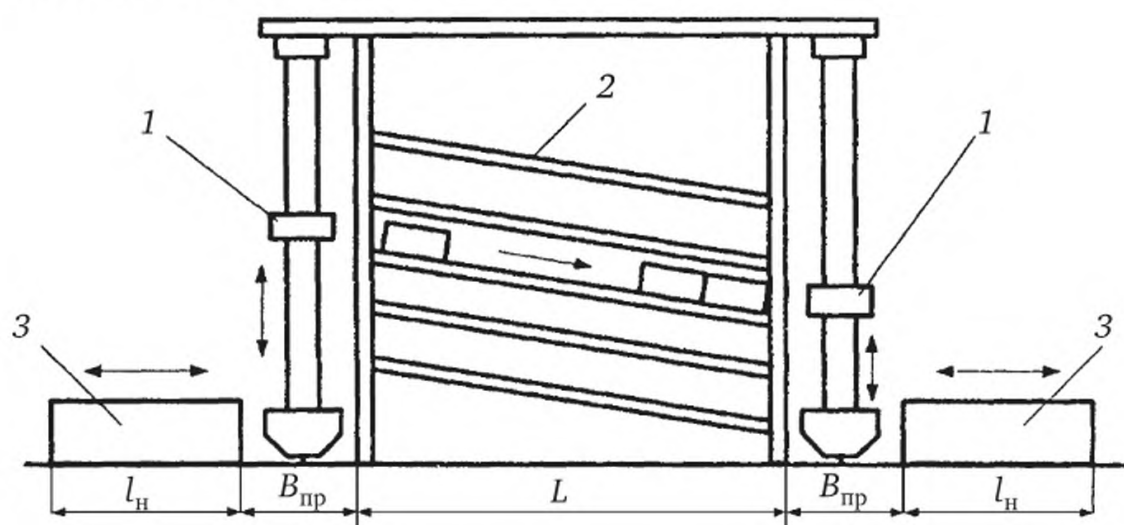
зации. К их недостаткам можно отнести малую грузоподъемность одной секции склада, особенно при небольшой высоте помещения. Стеллажные склады с автоматическими мостовыми кранами-штабелерами целесообразно применять при единичном и мелкосерийном производствах.



**Рис. 2.34. Схема стеллажного склада с автоматическим мостовым краном-штабелером и тремя стеллажами:**

1 — мостовой кран-штабелер, 2 — стеллаж

В случае, когда при незначительной номенклатуре грузов требуются сравнительно большие запасы материалов, можно использовать автоматизированные склады с гравитационными стеллажами (рис. 2.35).



**Рис. 2.35. Автоматизированный склад с гравитационными стеллажами:**

1 — автоматические каретки-операторы, 2 — гравитационные стеллажи, 3 — перегрузочные устройства

К оборудованию автоматических складов относятся складская тара, стеллажи, краны-штабелеры, перегрузочные устройства, а также системы автоматического управления складами. Требования к складскому оборудованию делятся на технические, экономические, эксплуатационные, организационные и эргономические.

Технические требования подразделяются на требования к геометрическим и скоростным характеристикам оборудования. Например, геометрические характеристики кранов-штабелеров должны обеспечивать наиболее полное использование объема зоны хранения, а скоростные характеристики — требуемую производительность.

Экономические требования регламентируют наиболее полное использование объема склада.

Эксплуатационные требования обуславливают такую характеристику оборудования, как точность его позиционирования относительно ячеек склада.

Организационные требования обеспечивают условия безопасности труда обслуживающего персонала.

Эргономические требования гарантируют удобство работы с оборудованием и его доступность для очистки и дезинфекции.

На автоматических складах заготовки, детали и изделия перегружаются и складываются в транспортно-складскую тару, представляющую собой ящичные, стоечные или плоские поддоны, или в специальную технологическую тару в виде кассет или спутников.

Грузы в таре складываются на стеллажах, которые могут быть односторонними и двусторонними. Они состоят из рам, полок, винтовых растяжек и фундаментальных болтов. Для автоматических складов стеллажи могут изготавливаться в комплекте со стеллажными кранами-штабелерами.

Перегрузочные устройства предназначены для приема грузов, подвозимых внутризаводским транспортом на склады, а также для выдачи уже нагруженных поддонов со склада на транспортную подсистему или наоборот. К перегрузочным устройствам относятся:

- консольные столы и накопители, встроенные в конструкции стеллажей;
- поворотные и многопозиционные столы и тележки;
- роликовые и цепные конвейеры;



- опускные и подъемные секции;
- толкатели.

Характеристики некоторых из этих устройств приведены в табл. 2.2.

Перегрузочные устройства автоматических складов ГАП можно оснащать аппаратурой для автоматического контроля массы и габаритов грузов, а также приспособлениями для укладки деталей в тару, их ориентирования, подсчета числа деталей, изделий и тары.

Таблица 2.2

**Перегрузочные устройства грузоподъемностью 500 кг для тары размерами  
600 × 800 мм**

Устрой- ство	Скорость перемещения груза, м/мин	Мощность привода, кВт	Масса, кг	Назначение
Конвейер роликовый	7,5	0,75	340	Подача тары в зону действия стел- лажного крана-штабелера с пово- ротным столом
Стол пово- ротный	7,5	1,5	450	Передача тары с роликового кон- вейера на такой же конвейер, рас- положенный под углом 90° к нему в плане
Конвейер роликовый	15	0,55	350	Подача тары в зону действия кра- на-штабелера с опускной секцией и цепным конвейером
Секция роликовая опускная	15	0,55	680	Перегрузка тары с роликового конвейера на цепной конвейер
Конвейер цепной	15	1,1	470	Подача тары в зону действия кра- на-штабелера с опускной секцией и роликовым конвейером

Системы автоматического управления складами составляют часть общей системы управления производством. Основными их функциями являются:

- автоматизация перемещения грузов на складе;
- учет наличия, прибытия и отправления грузов;
- прием и обработка управляющей информации;

- выдача информации о работе склада;
- общее управление и планирование работы склада.

Системы автоматизации склада на нижнем уровне включают в себя приводы исполнительных механизмов, пускорегулирующую аппаратуру, устройства автоматического позиционирования и логического управления и устройства ввода-вывода информации.

Компоновка складских систем ГАП зависит от типа производства, производственной программы, типа внутрицехового транспорта, характеристик конструкции производственного корпуса, а также типа и оборудования самих складов.

Наиболее рациональной является такая компоновка складов, когда они максимально приближены к технологическому оборудованию. В этом случае автоматический кран-штабелер или транспортно-складской робот не только выполняет функции складирования, но и распределяет материалы, заготовки и готовые изделия по рабочим местам. При этом обеспечивается экономия производственных площадей, непосредственная стыковка склада с транспортом и роботизированными технологическими комплексами, повышение надежности всей транспортно-складской системы, происходит общий рост производительности труда и уменьшение затрат на выполнение операций перемещения.

Рационально скомпоновать транспортно-складские системы возможно при использовании в качестве транспортно-складских роботов автоматических стеллажных кранов-штабелеров и при расположении одного или нескольких стеллажей вдоль производственного участка, рядом с робототехнологическими комплексами.

На рис. 2.36 показана схема типовой секции транспортно-накопительной системы с одним стеллажом.

Единый многофункциональный склад с клеточными стеллажами и автоматическим стеллажным краном-штабелером используют при небольших грузопотоках, незначительных сроках и объемах хранения заготовок и готовых изделий. При линейных компоновках склады располагаются в торцах производственного участка и оснащаются стеллажными или мостовыми автоматическими кранами-штабелерами.

Центральная компоновка склада с автоматическим стеллажным краном-штабелером приведена на рис. 2.37.

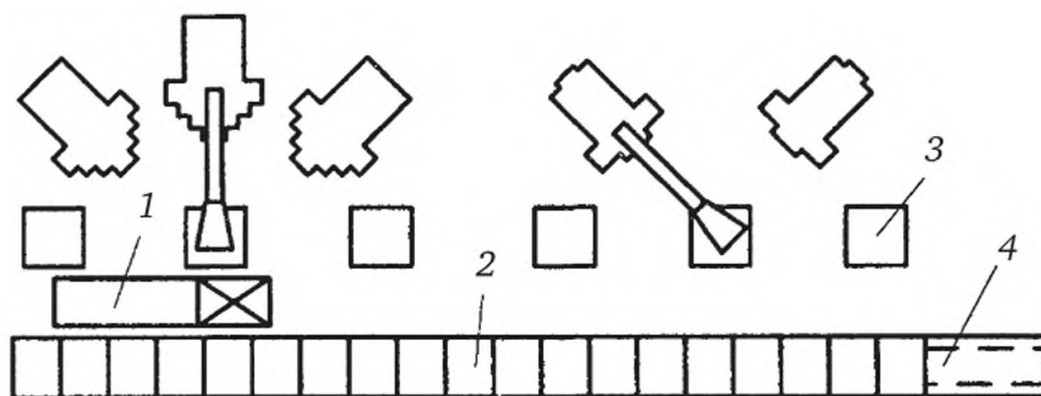


Рис. 2.36. Типовая секция транспортно-накопительной системы:

- 1 — автоматический стеллажный кран-штабелер, 2 — стеллаж, 3 — перегрузочные устройства робототехнологических комплексов, 4 — цепной конвейер-накопитель для приема и выдачи грузов

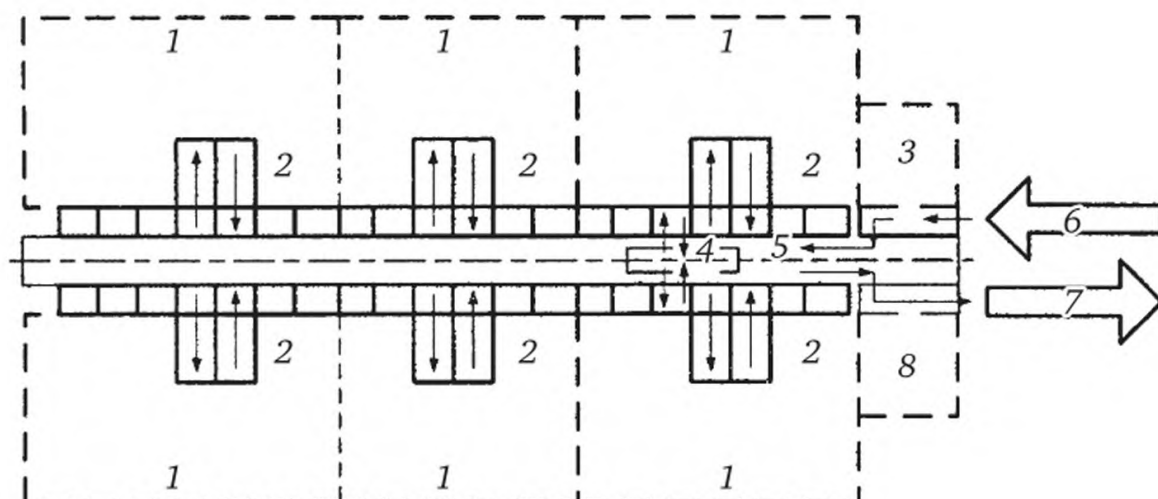


Рис. 2.37. Центральная компоновка склада ГАП с автоматическим стеллажным краном-штабелером:

- 1 — производственный участок с робототехнологическими комплексами, 2 — перегрузочные устройства и накопители, 3 — участок входного контроля, 4 — автоматический стеллажный кран-штабелер, 5 — объединенный склад материалов, заготовок, инструмента, пустой тары и готовых изделий, 6 — поступление материалов, заготовок, пустой тары и инструмента, 7 — выход готовых и бракованных изделий, 8 — участок технического контроля

При сравнительно небольших грузопотоках автоматические краны-штабелеры можно применять в качестве транспортно-складских роботов, предназначенных не только для обслуживания стеллажного склада или транспортных операций в пределах длины стеллажей, но и для подачи заготовок и материалов непосредственно на перегрузочные устройства робототехнических комплексов, выходящих за пределы стеллажей.

Компоновочные схемы со стеллажными кранами-штабелерами применяют при больших грузопотоках и незначительных объемах хранения грузов, а с мостовыми кранами-штабелерами — при меньших грузопотоках и больших объемах хранения. При больших грузопотоках и объемах хранения грузов рекомендуется создавать отдельные склады для заготовок и готовых изделий. При этом транспортные операции осуществляются или транспортно-складскими роботами, обслуживающими одновременно стеллажные склады, или самостоятельной транспортной подсистемой.

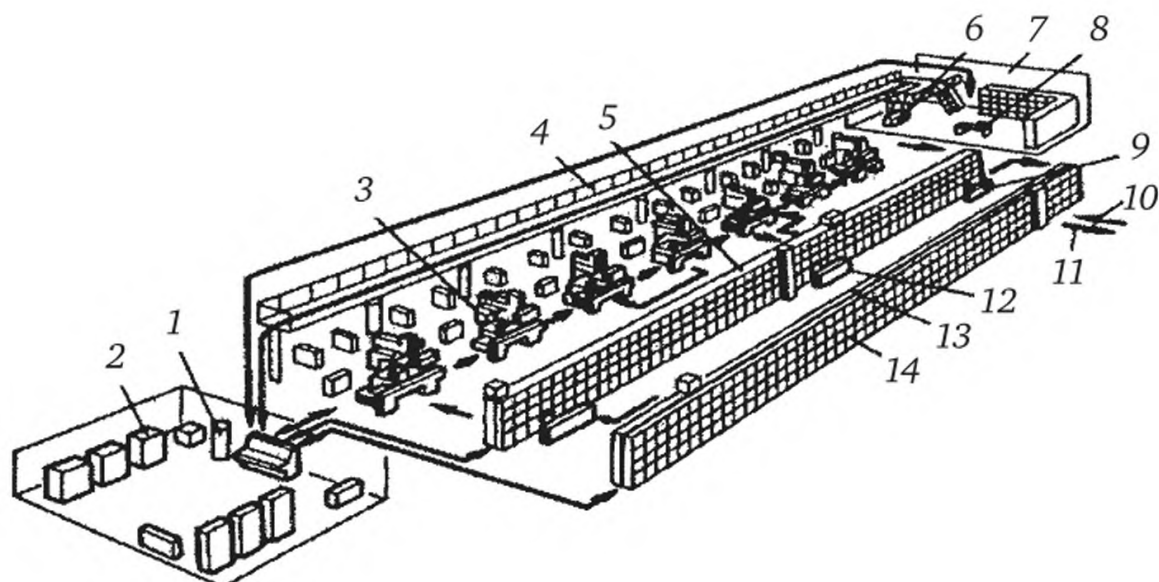
## 2.6. Примеры автоматизации технологических процессов

При автоматизации технологического процесса *изготовления корпусных деталей ЭВМ* учитывается, что современные ЭВМ имеют несколько *конструктивно-технологических уровней* (КТУ) элементов и сборочных единиц. При этом простые сборочные единицы, представляющие более низкий КТУ, входят в состав сложных сборочных единиц, находящихся на более высоком КТУ. Таким образом, изделия различных КТУ имеют иерархическую структуру, обеспечивающую последовательную компоновку ЭВМ, начиная от простейших до наиболее сложных в конструктивном отношении сборочных единиц.

В структуре ЭВМ различают шесть КТУ. К изделиям нулевого КТУ относятся покупные элементы, в первую очередь интегральные микросхемы (ИМС). Сборочные единицы первого КТУ представляют собой ячейки ЭВМ в виде плат с печатным или проводным монтажом. Вторым КТУ составляют сборочные блоки, субблоки и панели, а третий — приборные шкафы и стойки. К четвертому КТУ относятся сборочные единицы типа больших ЭВМ, а к пятому — ЭВМ со сложными периферийными связями. Деление конструкций ЭВМ на несколько КТУ обеспечивает возможность автоматизации конструирования, изготовления и контроля сборочных единиц, в частности корпусных деталей ЭВМ.

Для изготовления корпусных деталей ЭВМ целесообразно использовать автоматические линии. Автоматическая линия для комплексной обработки корпусных деталей, управляемая ЭВМ и обслуживаемая роботами, позволяет производить обработку большой номенклатуры корпусных деталей, выпускаемых мелкими сериями. Общий вид такой линии показан на рис. 2.38.





**Рис. 2.38. Автоматическая линия для комплексной обработки корпусных деталей:**

1 — дисплей, 2 — управляющая ЭВМ, 3 — станки номенклатурной линии, 4 — центральный инструментальный магазин, 5 — стеллаж для спутников с деталями, 6 — установка инструмента в кассеты, 7 — инструментальное отделение, 8 — наладка инструмента, 9 — объем готовых деталей, 10 — заготовки, 11 — детали, 12 — выборочный контроль деталей, 13 — склад заготовок, 14 — склад готовых изделий

Управление линией осуществляется от централизованной ЭВМ, что позволяет обрабатывать корпусные детали по гибко изменяющейся технологии, т. е. в соответствии с требованиями оптимальности загрузки оборудования возможно частичное изменение технологического маршрута обработки.

Запуск и выпуск готовых деталей планируются ЭВМ, производящей необходимые плановые, диспетчерские и инженерные расчеты — расчет режимов резания, нормирования и разработка управляющих программ. Кроме того, ЭВМ комплектует, контролирует и организует смену сотен единиц инструмента, а также управляет всем межоперационным транспортом и процессом производства, включая оперативный контроль каждого рабочего места.

В состав линии включены многоинструментальные станки с ЧПУ типа «обрабатывающий центр», позволяющие в требуемой последовательности выполнять комплекс операций металлообработки — расточку, сверление, нарезание резьб, зенкерование, фрезерование по контуру. Обычно для обработки деталей применяются особые приспособления — *спутники*. В линии имеются моечные посты для струйного удаления стружки с деталей и со спутников.

В линии используются ПР с ЧПУ, в том числе роботы-штабелеры для транспортирования заготовок и деталей со спутниками, а в линии с отдельным складом заготовок и готовых изделий дополнительно применяют два автоматических штабелера.

Линию обслуживают шесть человек: оператор ЭВМ, контролер, два наладчика инструмента и два рабочих для установки и снятия деталей со спутников. Связь между каждым из операторов, а также между любым оператором и ЭВМ производится с помощью дисплеев.

В состав линии входят также два полностью автоматизированных склада, управляемых ЭВМ, один из которых предназначен для подачи инструмента, а второй — для деталей, заготовок и спутников.

В роботизированных линиях обычно возникает необходимость изменения пространственной ориентации заготовок. Для этого можно использовать механизмы поворота, подъема и смещения обрабатываемых деталей, располагающихся в пределах рабочей зоны робота.

В производстве современной электронно-вычислительной и радиоэлектронной аппаратуры процессы подготовки электрорадиоэлементов к монтажу и пайке занимают значительное место в технологическом процессе. Усложнение аппаратуры и микроминиатюризация ее сборочных единиц повышают требования к надежности соединений и к оборудованию для монтажа электрорадиоэлементов.

Автоматизация процессов пайки печатных плат должна обеспечивать непрерывную обработку паяемых изделий. Наиболее приемлемыми для этого являются способы групповой пайки излучением, газом, волной или струей припоя, при которых достаточно осуществить поступательное движение печатной платы только в одной плоскости с требуемой по технологии скоростью.

Подготовительные операции групповой пайки печатных плат включают в себя определение способа нанесения защитного покрытия контактных площадок платы для обеспечения их паяемости и очистку поверхностей от окисных пленок, жировых и прочих загрязнений.

Для очистки применяются станки, оснащенные мягкими абразивными кругами, в которых абразивный порошок находится в массе резины или другого эластичного материала. Их использование позволяет получить хорошее качество за-

чистки поверхностей плат при высокой производительности автоматического оборудования. Защитное покрытие может наноситься с помощью автомата, осуществляющего последовательный прием плат из подающей кассеты на ленту транспортера. Транспортер перемещает платы под распылителем, наносящим покрытие, и складывает их в выходную кассету.

При создании автоматизированных агрегатов пайки предусматривается защита участков платы, не подлежащих пайке, от расплавленного припоя. Для этого используются защитные маски из клеевой бумаги, предназначенные для разового применения. После запайки печатных блоков маски удаляются промыванием в горячей воде.

Процесс подготовки выводов элементов к пайке во многих случаях совмещают с технологическими операциями их формовки и обрезки в соответствии с требованиями конструкции печатного монтажа. Для этого можно использовать автомат, схема которого показана на рис. 2.39.

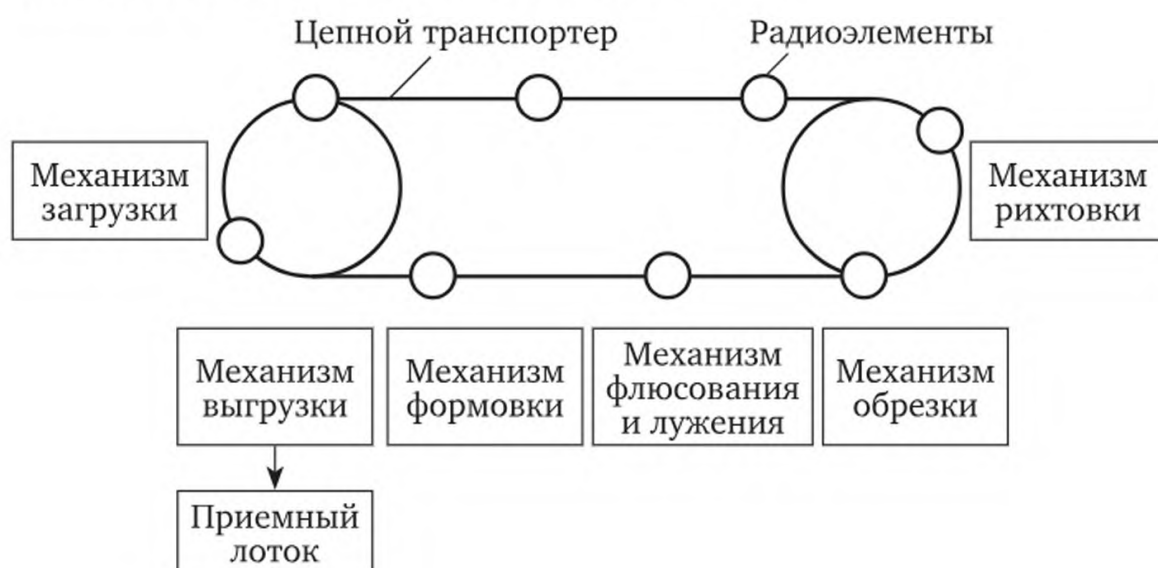


Рис. 2.39. Схема автомата подготовки элементов к пайке

Вспомогательные операции групповой пайки включают операции нанесения и подсушки флюса, предварительного нагрева платы и деталей, очистки и сушки печатных плат. Их выполнение связано во времени с операцией пайки, следовательно, работа оборудования для выполнения этих операций связана с работой оборудования для пайки.

Основными требованиями, предъявляемыми к оборудованию для нанесения флюсующего состава, являются обеспечение регулируемой подачи необходимого количества флюса

и равномерность его поступления в заданном интервале времени.

Для предварительного нагрева и сушки печатных плат можно использовать трубчатые инфракрасные излучатели, а для очистки плат после пайки — установки для их очистки в парах растворителя, например фреона, и установки, применяющие ультразвук.

Компоновка линии пайки приведена на рис. 2.40.

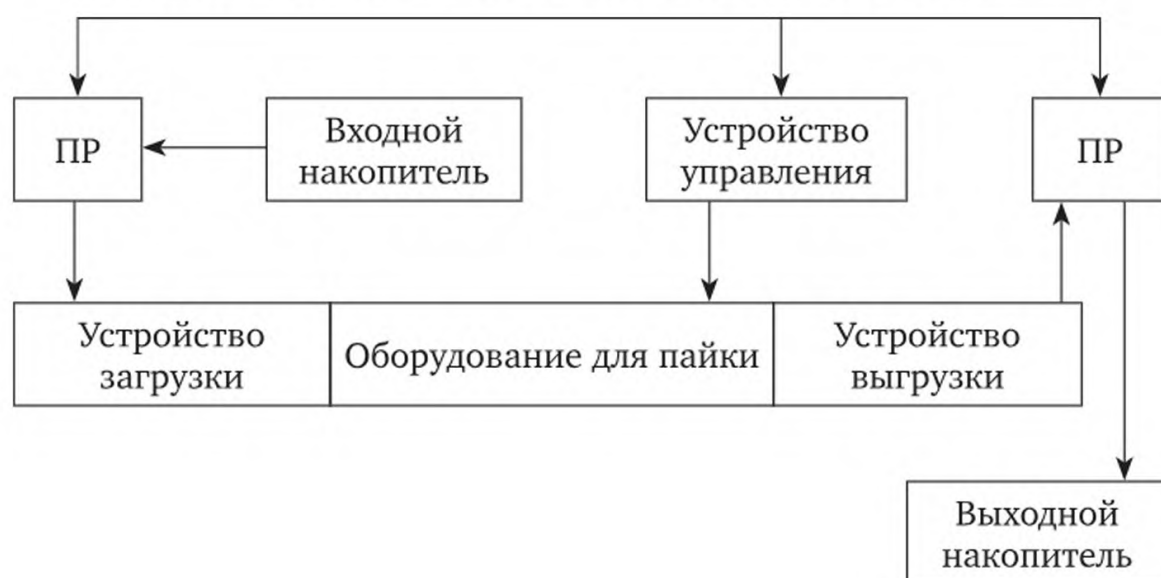


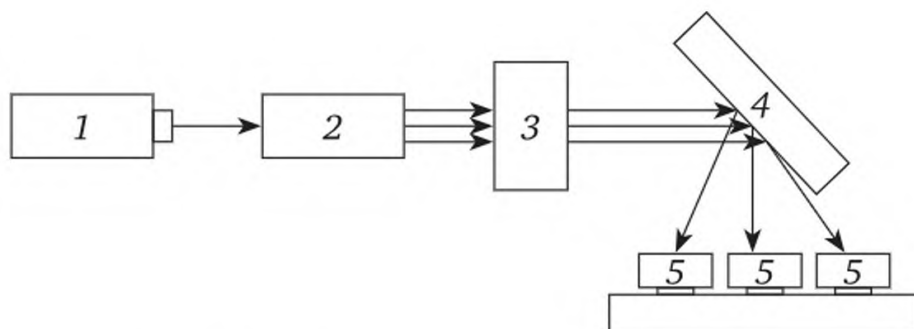
Рис. 2.40. Компоновка линии пайки

Промышленный робот осуществляет подачу печатных плат из входного накопителя на устройство загрузки оборудования для пайки. После окончания пайки печатные платы с устройства выгрузки с помощью ПР складываются в выходной накопитель. Работа всех блоков модуля синхронизируется устройством управления на базе ЭВМ. Наличие ЭВМ обеспечивает гибкое программное управление в условиях многономенклатурного производства и частого изменения технологии изготовления.

Для низкотемпературной пайки применяются лазерные установки многоточечного нагрева с голографическим делением луча. Схема такой установки изображена на рис. 2.41.

Луч лазера с помощью телецентрической оптики расширяется до значительного диаметра, а затем параллельным потоком направляется на голограмму. Для каждого вида нагрева используется специальная голограмма, с помощью которой лучевой поток раскладывается на ряд элементарных лучей, направляемых управляемым отражателем на паяемые изделия.



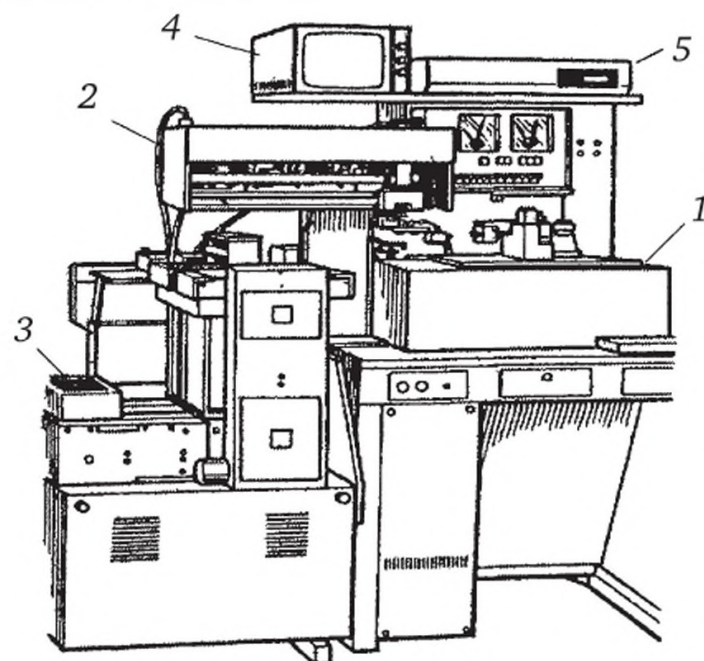


**Рис. 2.41. Схема лазерной установки с голографическим делением луча:**

1 — лазер, 2 — телецентрическая оптика, 3 — голограмма, 4 — отражатель, 5 — изделия

Для пайки легкоплавкими припоями изделий электронной техники мощность, выделяемая в зоне нагрева и равная 5 Вт, достаточна. Вследствие этого одним импульсом промышленного лазера мощностью 20—50 Вт можно вести пайку одновременно в нескольких точках. Применение лазерного излучения особенно эффективно в технологическом процессе прецизионной пайки изделий электронной техники в микроминиатюрном исполнении.

Для осуществления сборки микросборочных приборов используются гибкие автоматические модули монтажа кристаллов в корпусе и гибкие автоматические модули прецизионной микросварки. Гибкий автоматический модуль монтажа кристаллов показан на рис. 2.42.



**Рис. 2.42. Гибкий автоматический модуль монтажа кристаллов:**

1 — рабочая зона, 2 — механизм перемещения, 3 — кассета с кристаллами, 4 — дисплей, 5 — ЭВМ

Он работает следующим образом. Основания для монтажа подаются манипулятором из кассеты в механизм их перемещения и продвигаются шагами в держателях по нагревателям до позиции монтажа. На поворотном основании координатного стола устанавливается штабель из десяти кассет с кристаллами. Механизм выборки кристалла забирает кристалл и передает его в ориентатор, из которого с помощью захватного устройства вакуумного механизма монтажа он переносится на основание, расположенное на механизме перемещения. После монтажа основание с кристаллом перемещается далее в держателях по направляющим и передается манипулятором в автоматический склад. Параметры процесса отображаются на дисплее.

Управление модулем включает в себя несколько самостоятельных по выполняемым функциям систем (рис. 2.43).

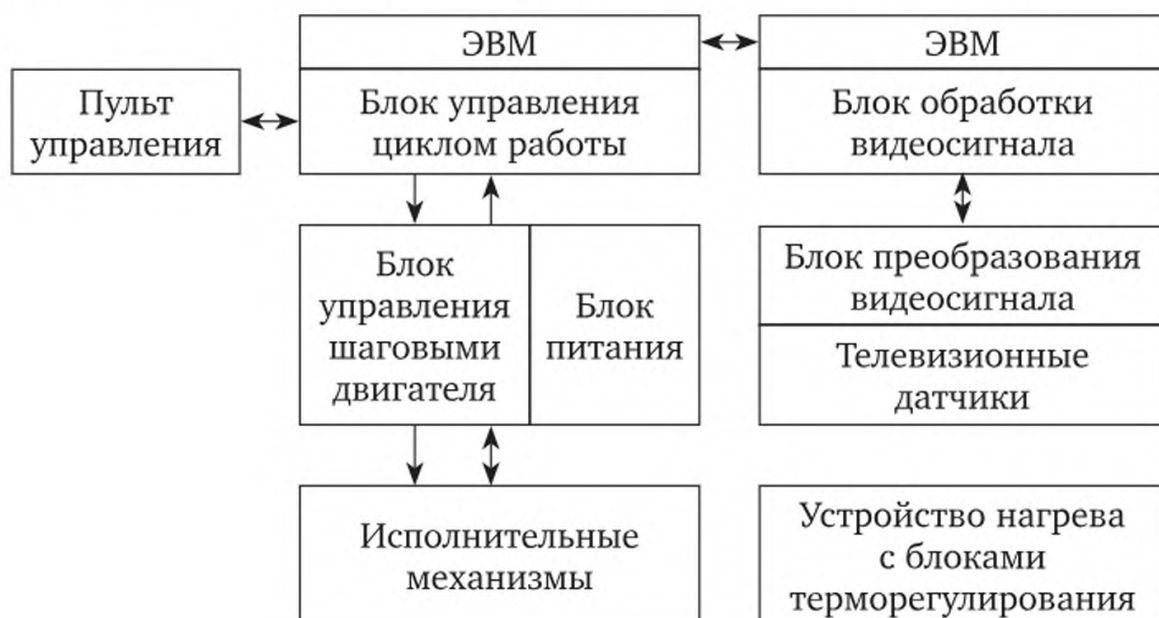


Рис. 2.43. Схема управления монтажным модулем

Управление работой исполнительных механизмов по программе, хранящейся в памяти первой ЭВМ, в соответствии с циклограммой работы установки осуществляет система управления.

Системы машинного зрения и контроля качества совмещают кристалл с колодцем корпуса схемы и оценивают качество эвтектики после присоединения кристалла к корпусу.

Нагрев корпусов схем осуществляют два нагревателя и система установки и поддержания с определенной точностью заданной температуры.

Блок управления циклом работы выполняет две функции:

1) прием сигналов с установки и передачу их на ЭВМ, а также прием управляющих сигналов, поступающих с ЭВМ, на блок управления шаговыми двигателями для управления работой исполнительных механизмов в соответствии с циклограммой;

2) совмещение кристаллов с корпусом схемы, контроль качества эвтектики после присоединения кристалла к корпусу.

Пульт управления предназначен для введения в ЭВМ данных, связанных с коррекцией положения координатного стола и механизма монтажа, изменением технологических параметров и режимов работы отдельных узлов по времени отладки и выводом из ЭВМ данных о причинах сбоя установки, ее режимах и параметрах. Ввод и вывод информации производятся в закодированном виде.

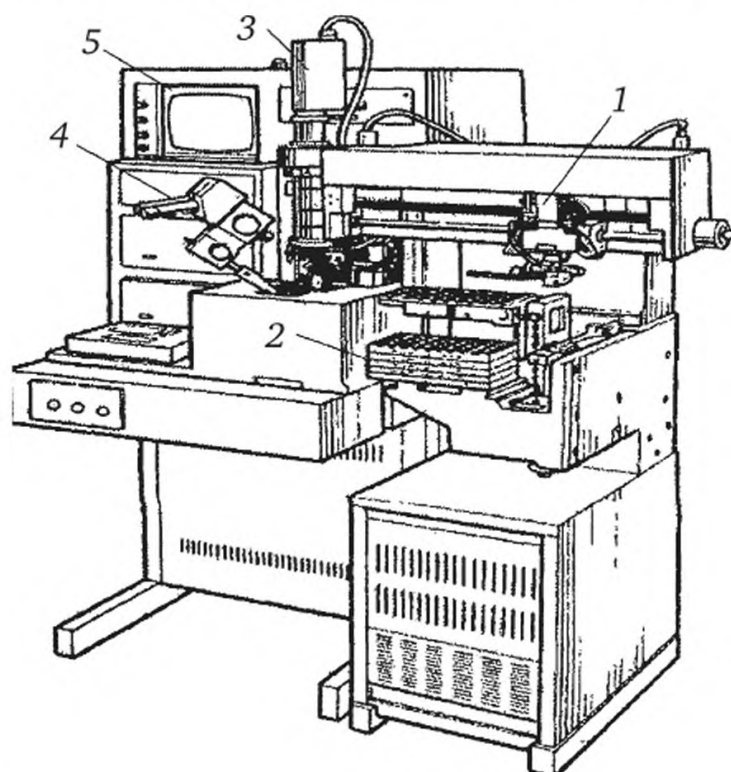
Блок преобразования видеосигнала обеспечивает выдачу управляющих напряжений для телевизионных датчиков, а также усиление и преобразование видеосигнала, поступающего с телевизионных датчиков.

*Модуль микросварки* предназначен для автоматического присоединения выводов из алюминиевой проволоки к элементам интегральных микросхем и полупроводниковых приборов методом ультразвуковой сварки, формирования перемычек и контроля качества монтажа рис. 2.44.

Модуль работает следующим образом. Микросхема из кассеты автоматически подается манипулятором в устройство микросварки и фиксируется на координатном столе, который затем смещается в зону распознавания. Оператор на пульте управления набирает номер режима. Автоматически происходит распознавание реперных точек корпуса и кристалла. Величины перемещений фиксируются в памяти блока управления, после чего им производится перерасчет траектории движения. Координатный стол подводит первую контактную площадку корпуса микросхемы под сварочный инструмент стриктора, опускающегося вниз, производит первую сварку и поднимается в зону формирования перемычки. Инструмент механизма формирования перемычек подводится под проволоку в верхнюю точку перемычки. При этом координатный стол и привод перемещения механизма микросварки подводят под сварочный инструмент первую контактную площадку кристалла. Сварочный инструмент опускается вниз и производит вторую сварку. В момент опускания сварочного инструмента осуществляется



перегиб проволоки через специальное приспособление. После обрыва проволоки с помощью губок механизма подачи и обрыва сварочный инструмент поднимается вверх.



*Рис. 2.44. Общий вид гибкого автоматического модуля микросварки:*

1 — манипулятор, 2 — кассеты с микросхемами, 3 — сварочный инструмент, 4 — блок распознавания, 5 — дисплей

При опускании координатного стола к перемычке прикладывается программируемое растягивающее усилие. В случае удовлетворительности прочностных свойств проволоочной перемычки усилие снимается. Если прочностные свойства проволоочной перемычки неудовлетворительны, то срабатывает датчик контроля обрыва перемычки. На цифровом табло пульта управления высвечивается показание усилия обрыва, и работа останавливается.

Аналогично происходит приварка и контроль остальных перемычек. После окончания цикла приварки всех перемычек сварочный инструмент, приспособление для формирования и координатный стол возвращаются в исходное положение. Затем координатный стол смещается в зону загрузки, происходит расфиксация микросхемы, манипулятор снимает ее с координатного стола и возвращает в ячейку кассеты. Подача и фиксация следующей микросхемы и ее сварка осуществляются автоматически. Если реперная контактная площадка не рас-



познана, то происходит сканирование координатного стола для определения ее положения.

Схема электрической части модуля микросварки приведена на рис. 2.45.

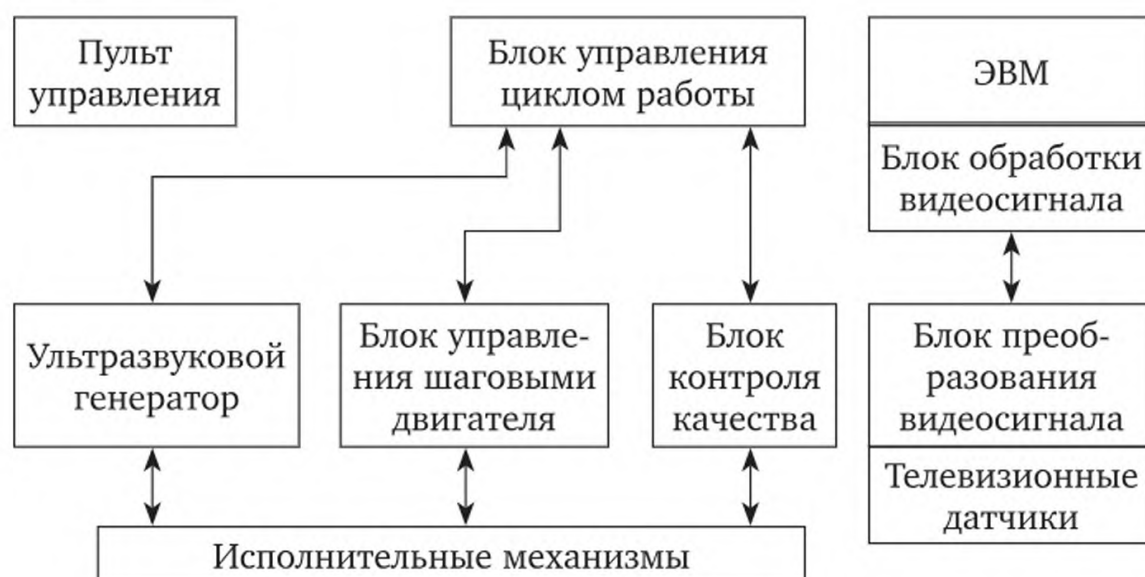


Рис. 2.45. Структурная схема системы управления гибким автоматизированным модулем микросварки

Основными элементами схемы являются: блок управления циклом работы, блок управления шаговыми двигателями, ультразвуковой генератор, телевизионные датчики, блок обработки видеосигнала, блок преобразования видеосигнала, блок контроля качества и пульт управления.

Блоки управления предназначены для хранения и обработки информации, поступающей из внешних устройств; хранения управляющей программы; управления работой шаговых двигателей; контроля работы модуля.

Телевизионные датчики входят в состав блока технического зрения, оптическая схема которого представляет собой двухканальную систему. Первый канал предназначен для определения координатных площадок кристалла микросхем, а второй — для нахождения координат контактных площадок корпуса.

Для контроля выполняемых операций используются системы технического зрения, представляющие собой комплекс технических, вычислительных и программных средств и включающие:

— телевизионную передающую камеру, производящую фотоэлектрическую регистрацию оптического изображения исследуемой поверхности контролируемого прибора;

— телевизионный графический дисплей, отображающий регистрируемое изображение и служебную символьную информацию;

— видеопроцессор, управляющий перечисленными устройствами, а также преобразующий и запоминающий видеосигнал обрабатываемого изображения;

— ЭВМ, принимающую запомненное изображение от видеопроцессора и осуществляющую анализ представленной информации, выделение ее ключевых признаков, сравнение с заданными характеристиками эталона, оценку показателей расхождения и принятие решения о качестве выполняемой операции;

— комплект программ по общему управлению системой контроля и обработке изображений контролируемого прибора.

В системе может быть организован речевой диалог человек — ЭВМ, включающий как синтез речевых сообщений, так и анализ устных команд для ЭВМ.

Реализация этой системы позволяет обеспечить удобство, естественность и простоту общения; сократить сроки обучения обслуживающего персонала; разгрузить зрительный канал при вводе-выводе информации; резко уменьшить число ручных манипуляций с центрального поста управления.

Контроль качества паяных соединений предусматривает способы оценки:

- по внешнему виду с использованием эталона паяного соединения;
- прочности на отрыв;
- структуре припоя и характеру диффузионной зоны;
- переходному сопротивлению контакта;
- интенсивности отказов в течение заданного срока испытаний.

Критериями оценки прочности паяных соединений являются величина усилия отрыва, устойчивость при воздействии знакопеременных нагрузок и вибропрочность.

Дефекты в паяных соединениях можно обнаружить с помощью ультразвукового контроля. Универсальные ультразвуковые дефектоскопы позволяют обнаруживать раковины, поры, расслоения и другие дефекты пайки, отражающие ультразвуковые колебания и изменяющие структуру акустического поля частотой 0,5—25 МГц.

Повышение качества контроля паяных соединений достигается путем применения лазерной системы контроля дефектов (рис. 2.46).

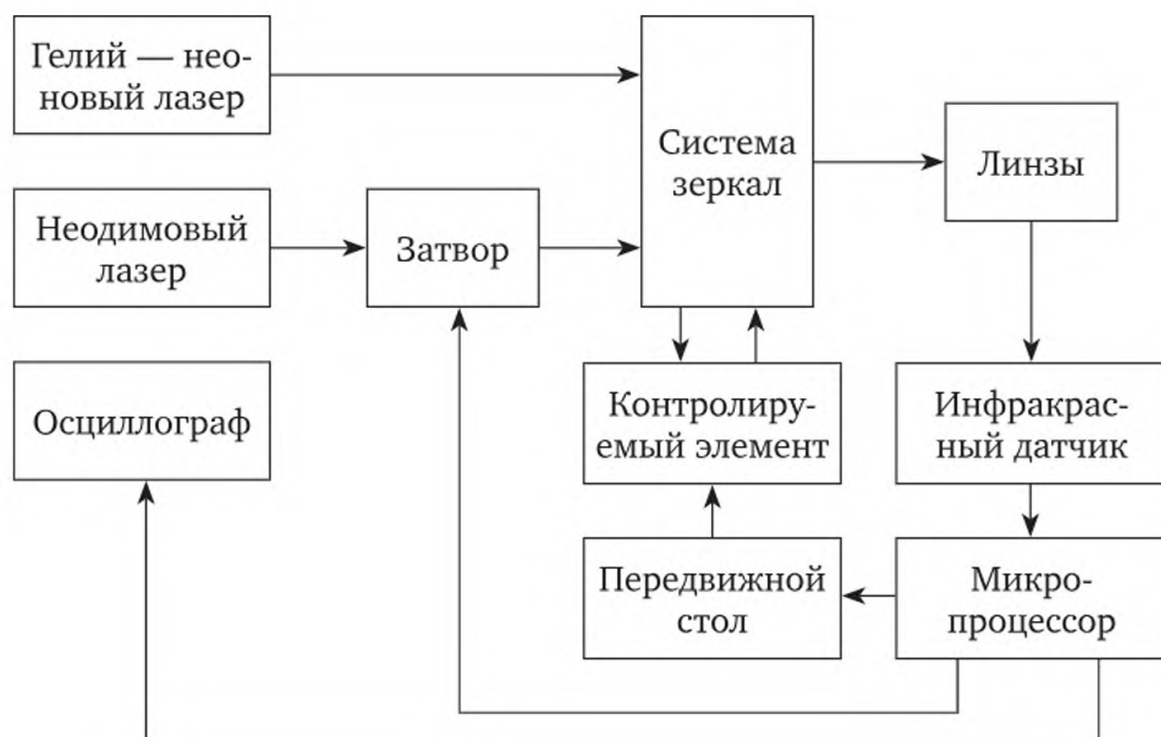


Рис. 2.46. Схема лазерной системы контроля паяных соединений

С помощью гелий-неонового лазера устанавливают точное местоположение контролируемого элемента в системе координат передвигного стола, на котором установлен контролируемый элемент. Контрольные лучи излучает мощный неодимовый лазер, работающий в инфракрасной области с длительностью излучения, которую задает микропроцессор, связанный с затвором. Луч, управляемый системой зеркал, падает на место пайки на контролируемом элементе, причем большая часть света отражается от блестящей и однородной поверхности пайки. Если структура пайки зернистая, то она начинает поглощать энергию луча, нагревается и дает вторичное инфракрасное излучение. Отраженное в системе зеркал и собранное в линзах излучение воспринимается инфракрасным датчиком, сигнал с которого анализируется с помощью микропроцессора и подается на осциллограф в виде термограммы.

Лазерным контролем обнаруживаются такие дефекты соединения, как раковины и внутренние включения, поскольку они имеют меньшую массу, и поэтому нагреваются быстрее, чем сплошные паяные соединения. Разогревание паяного соединения с помощью неодимового лазера выходной мощностью 60 Вт происходит за 50 мс. В итоге можно контролировать в секунду около десяти паяных соединений, расположенных на расстоянии 1,25 мм друг от друга.

При необходимости лазерный контроль дополняется ультразвуковым контролем. Автоматизация такой комбинированной системы осуществляется на базе специальной программы для управляющего микропроцессора.

Для автоматизации операций визуального контроля в производстве электронных узлов применяются средства технического зрения. Контроль заключается в определении местоположения и ориентации интегральной схемы на теплопроводящей подложке, а также в оценке качества кристалла после его распознавания. Поле контроля дискретизируется на 16 уровней яркости. С помощью градиентного детектора контуров формируется гистограмма всех направлений контуров поля контроля, при этом ее пик указывает приблизительную ориентацию кристалла. Далее решается задача определения местоположения углов кристалла путем сопоставления с эталонными образцами, причем если один из углов не найден, то кристалл бракуется. Треснувшие и разбитые кристаллы определяются с помощью операции установления порогового контраста.

Специфика производства изделий микроэлектроники заключается в постоянном совершенствовании технологии изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, что затрудняет автоматизацию производства традиционными методами. Решению этой проблемы способствует применение ПР, которые, являясь автономными устройствами, позволяют в короткие сроки разрабатывать автоматизированные комплексы и создавать на их базе достаточно гибкие системы, наиболее полно учитывающие специфику и особенности отдельных производств.

Расширение технологических возможностей оборудования для создания микроэлектронных изделий обеспечивается использованием адаптивных ПР, повышающих гибкость выполнения отдельных операций за счет автоматического учета специфики взаимодействия составляющих технологического процесса. Адаптацию можно применять для эффективного решения задач по автоматизации загрузки-выгрузки подложек, манипулирования пластинами во время сборочных операций и извлечения из навала сборочных единиц.

Производство печатных плат в силу особенностей технологии выдвигает свои условия к применению ПР. Здесь использование ПР эффективнее всего на транспортно-складских операциях и вспомогательных операциях загрузки-разгрузки технологического оборудования. В производстве печатных



плат ПР манипулируют плоскими заготовками, отличающимися друг от друга только геометрическими параметрами. При этом на всех операциях, кроме сверления на станках с ЧПУ, не нужна высокая точность ориентации и фиксации заготовок в рабочей зоне технологического оборудования. Для установки заготовок на станках с ЧПУ от ПР требуется повышенная точность позиционирования, обусловленная необходимостью фиксации пакета заготовок печатных плат в рабочей зоне станка по базовым отверстиям. Особенности операций, на которых целесообразно применение ПР, сводят переналадку робототехнических комплексов к замене захватных устройств.

Для осуществления прецизионной сборки используются репрограммируемые и адаптивные автоматы. Основными функциями систем управления *репрограммируемыми автоматами* (рис. 2.47) являются управление прецизионным шаговым электроприводом и оперативный контроль качества микросварки.

Эти системы управляют всеми исполнительными механизмами, включая автоматическую загрузку-выгрузку корпусов, а также совмещение инструмента с контактными площадками приборов. Функции операторов сводятся к первоначальному занесению эталонной программы позиционирования и однократному выполнению операции коррекции реперных точек в случае неточной посадки кристалла в данном корпусе. На остальных точках совмещение осуществляется автоматически. Производительность одного оператора зависит от числа соединений в приборе и достигает 20 тыс. сварок в час. Качество соединений практически не зависит от субъективных факторов, так как специальная программа обеспечивает автоматическое индивидуальное формирование каждой проволочной перемычки.

К основным функциям систем управления адаптивными автоматами можно добавить еще функции пространственной адаптации на основе технического зрения и адаптации технологических режимов микросварки. Техническое зрение состоит из ЭВМ, связанной с оптической системой и оптоэлектронной твердотельной схемой. Оно распознает образ кристалла и корпуса собираемого прибора, их реальное абсолютное и относительное пространственное расположение, а также производит автоматическую коррекцию массива координат эталонной программы позиционирования для топологии данного типа прибора.

Система технологической адаптации обеспечивает реакцию робота на изменение технологических параметров исходных

материалов и одновременно производит неразрушающий контроль всех соединений по электрическим, механическим и визуальным характеристикам.

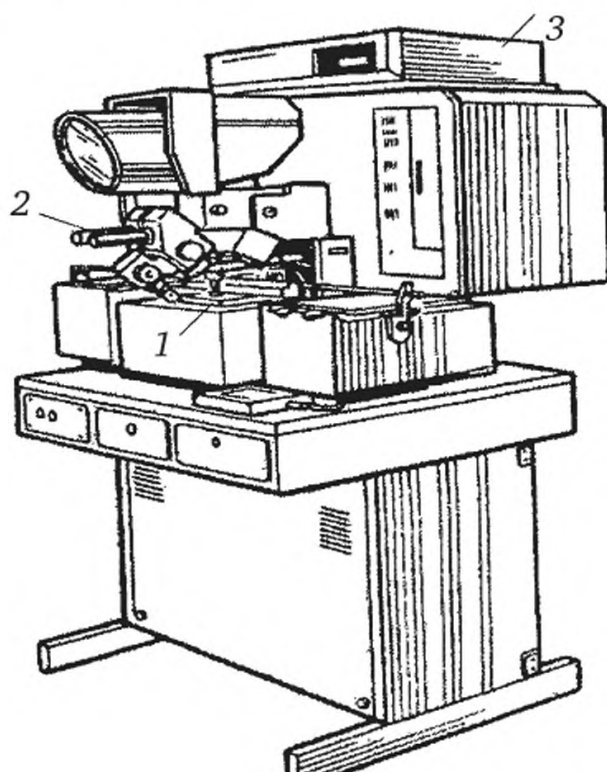


Рис. 2.47. Репрограммируемый автомат:  
1 — рабочая зона, 2 — блок контроля, 3 — ЭВМ

При выборе технологии изготовления печатных плат обычно ориентируются на возможность использования имеющегося оборудования, требования к плотности монтажа и стоимость изготовления.

Создание гибких модулей печатных плат позволяет повысить эффективность их производства. Автоматическая система изготовления печатных плат состоит:

- из модуля получения рисунка схемы;
- модуля химико-электролитической металлизации;
- модулей щелочного и кислого травлений;
- модулей прессования, сверления и фрезерования;
- модуля защитного покрытия и маркировки.

Модуль получения рисунка схемы на печатной плате выполняет химико-механическую подготовку поверхности заготовок, нанесение рисунка методом односторонней сеткографической печати, ультрафиолетовое отверждение краски, травление и снятие краски. Компоновка такого модуля приведена на рис. 2.48.

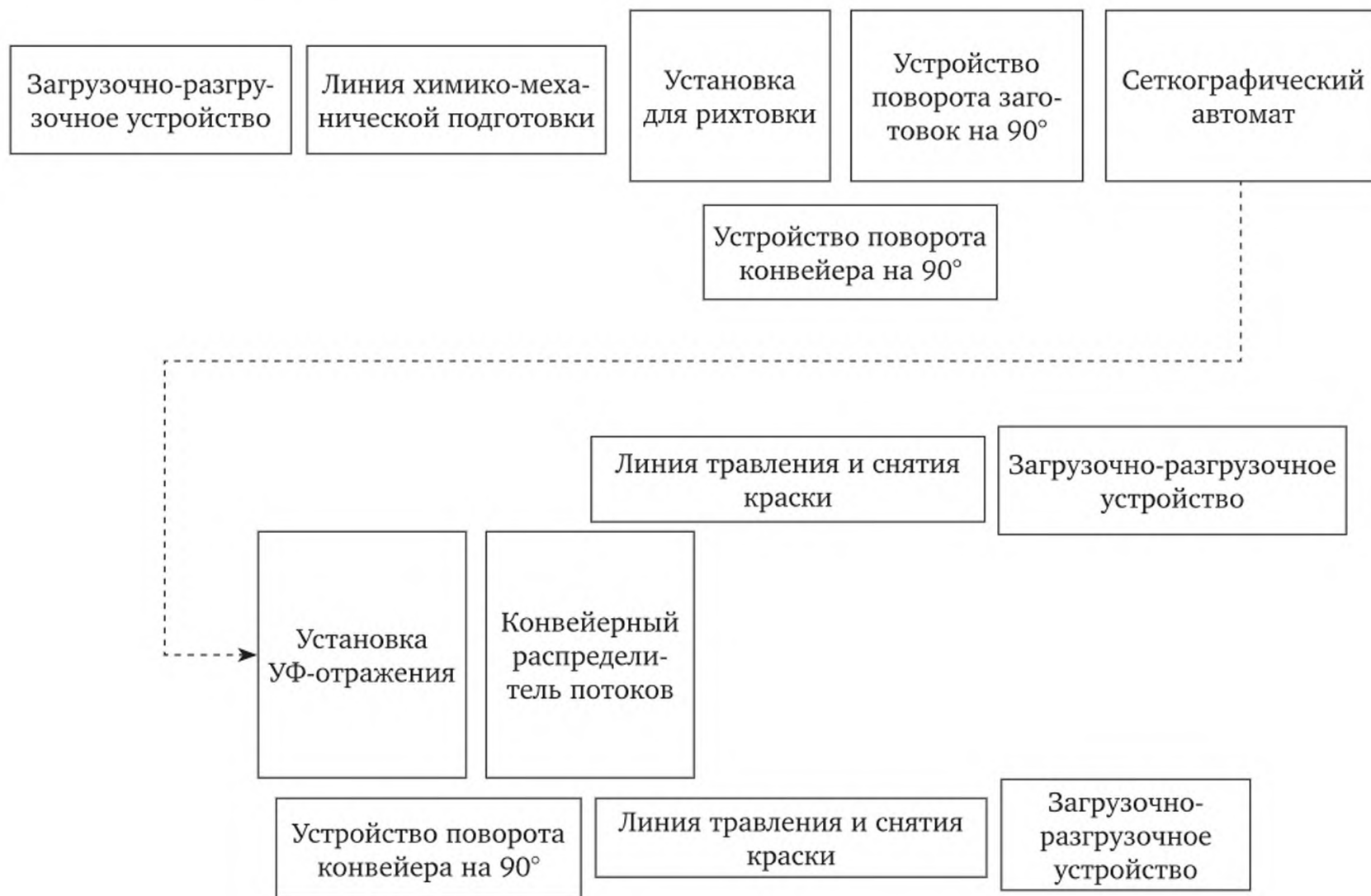


Рис. 2.48. Компонировка модуля получения рисунка схемы на печатной плате

Модуль химико-электролитической металлизации осуществляет химическое и электролитическое меднение и нанесение защитного покрытия «олово-свинец» на печатные платы. Его компоновка изображена на рис. 2.49.

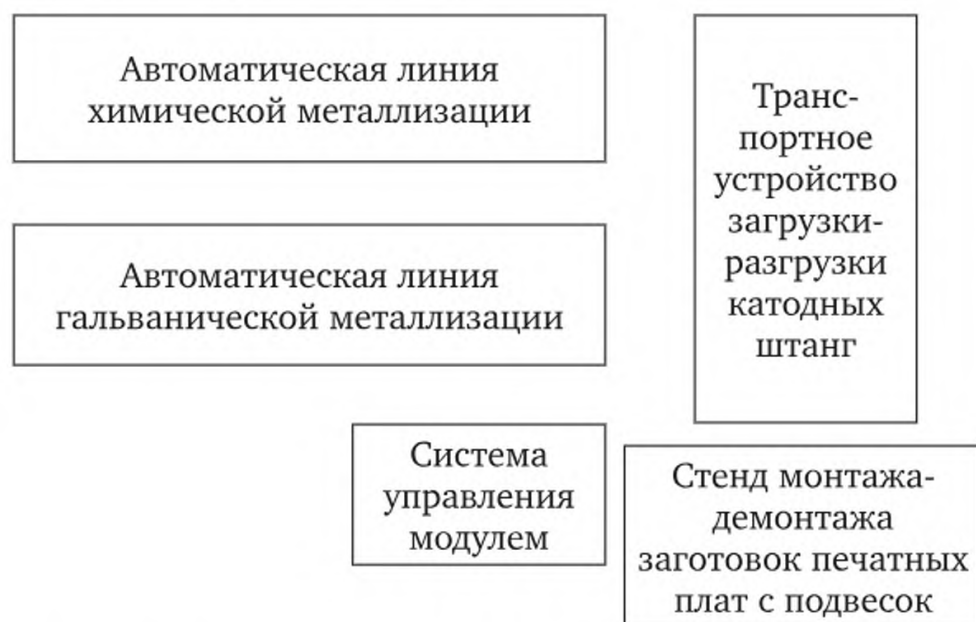


Рис. 2.49. Компоновка модуля химико-электролитической металлизации

Модуль щелочного травления, показанный на рис. 2.50, производит травление рисунка печатной платы с защитным покрытием «олово-свинец», оплавление этого покрытия и отмывку.

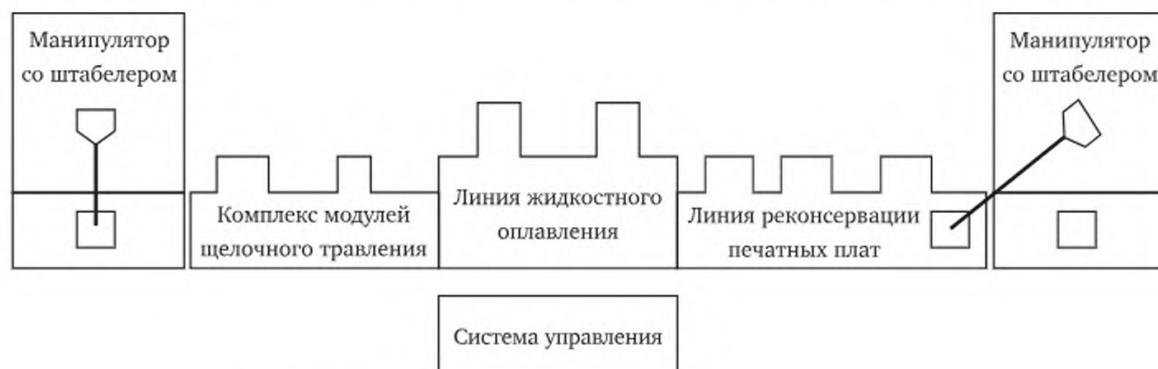


Рис. 2.50. Компоновка модуля щелочного травления

Модуль кислого травления (рис. 2.51) предназначен для травления схемы слоев печатных плат с защитным покрытием, снятия покрытия и подготовки слоев к прессованию на модуле прессования (рис. 2.52).

Модули прессования, сверления и фрезерования выполняют механическую обработку печатных плат и могут включать в свой состав оборудование с ЧПУ.



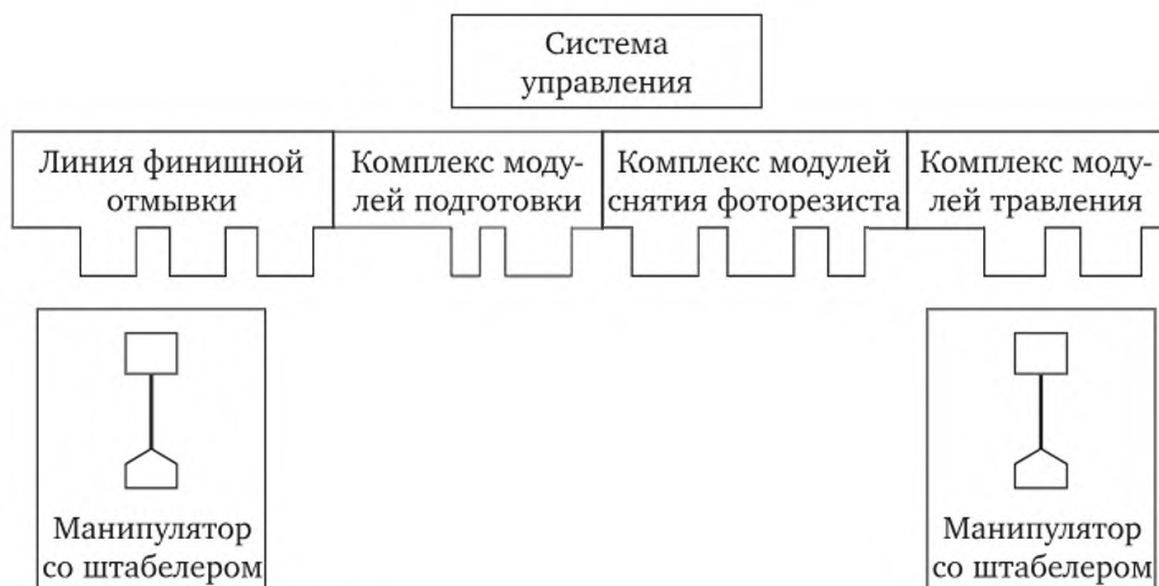


Рис. 2.51. Компонировка модуля кислотного травления



Рис. 2.52. Компонировка модуля прессования

Модуль защитного покрытия и маркировки осуществляет завершающие операции по обработке печатных плат. Он наносит защитное покрытие и производит маркировку печатных плат (рис. 2.53).

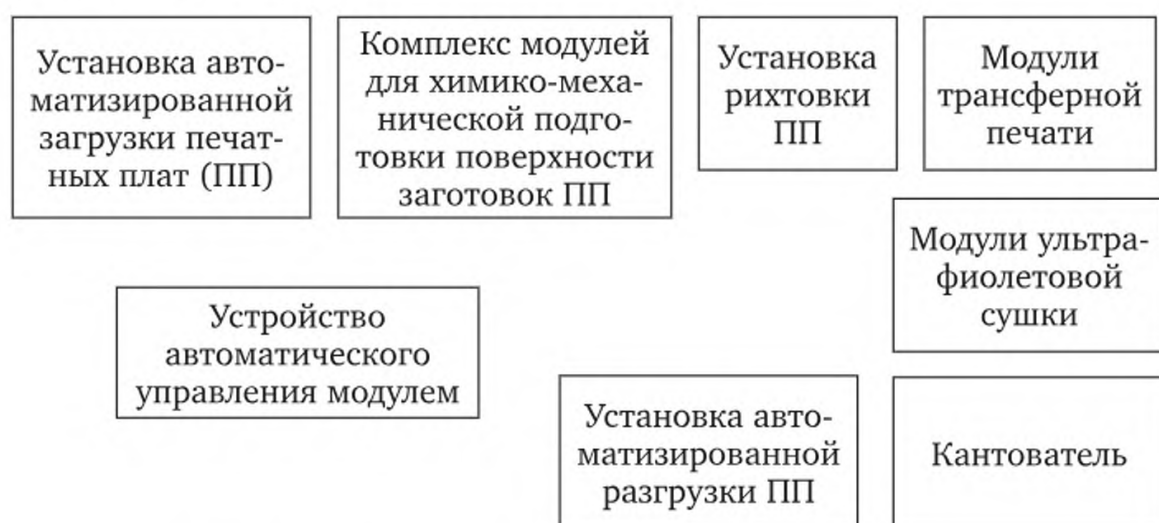


Рис. 2.53. Компонировка модуля защитного покрытия и маркировки

Функционирование всех гибких модулей должно быть синхронизировано между собой и с соответствующими транспортно-складскими работами. Эта задача решается системой управления.

### **Контрольные вопросы**

1. Какой состав имеет промышленная система технических средств?
2. Для обработки каких деталей применяются обрабатывающие центры?
3. Что называется устройством ЧПУ?
4. Чем характеризуются интеллектуальные цифровые приводы?
5. Какие функции выполняет манипулятор?
6. Какую погрешность имеют роботы с высокой точностью позиционирования?
7. Что входит в состав технических средств автоматической транспортно-накопительной системы?
8. Какие технологические участки может включать в себя автоматический склад?
9. Как komponуется схема стеллажного склада с автоматическим мостовым краном-штабелером?
10. Как функционирует гибкий автоматический модуль микросварки?

## **3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

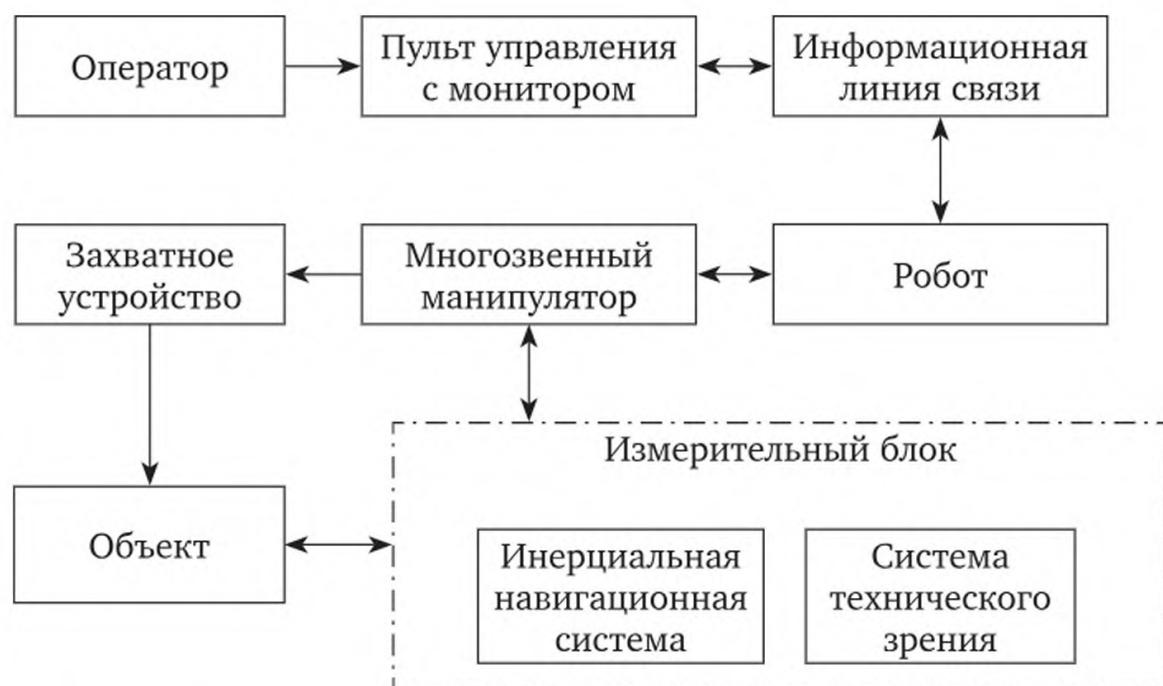
### **3.1. Работы на атомных станциях**

Работы на атомных станциях сопряжены с опасностью, связанной с радиацией. При автоматизации различных работ в *атомных реакторах*, прежде всего, преследуется цель обеспечения безопасности обслуживающего персонала. Необходимо обследовать реактор перед каждым запуском и удалять из него посторонние предметы, которые могут привести к повреждению элементов рабочего контура реактора в процессе его функционирования.

Специфика автоматизации работ в атомном реакторе определяется сложностью его внутренней структуры, существенно ограничивающей рабочую зону перемещения автоматических устройств. Неравномерно расположенные несущие конструкции и трубчатые рабочие элементы реактора диктуют необходимость использования многозвенного манипулятора, способного при перемещении конечного звена адаптивно направлять его по доступному пространству к области возможного нахождения посторонних предметов, которые, как правило, могут располагаться в нижней зоне реактора. Таким образом, при стационарном выполнении робототехнического комплекса длина манипулятора должна быть больше высоты реактора.

Общая схема робототехнического комплекса для работ в атомном реакторе приведена на рис. 3.1.

Управление комплексом осуществляет оператор, находящийся в безопасной зоне, с помощью пульта управления с монитором, на котором отображается вся информация об окружающей среде и текущем положении конечного звена манипулятора, поступающая от измерительной системы.



**Рис. 3.1. Общая схема робототехнического комплекса для работ в атомном реакторе**

Команды с пульта управления через информационную линию связи поступают на исполнительные устройства робота. В качестве робота в зависимости от диапазона его назначения может быть использован стационарный робот или транспортный робот с манипулятором на борту.

На многозвенном манипуляторе робота устанавливается измерительный блок, состоящий из инерциальной навигационной системы и системы технического зрения. С помощью измерительного блока осуществляется распознавание сцены окружающей среды и наведение захватного устройства манипулятора на объект, подлежащий удалению из реактора.

Захватное устройство манипулятора реализует захват объекта, используя информацию о его положении и размерах. Конструкция захватного устройства должна выбираться, исходя из обеспечения наиболее широкого диапазона возможности захвата предметов различных форм и размеров.

Принцип функционирования измерительного блока поясняется схемой на рис. 3.2.

Телекамера, установленная на манипуляторе, передает изображение окружающей среды в систему управления, которая анализирует полученную информацию и принимает решение о дальнейшей траектории движения манипулятора или об обнаружении объекта, подлежащего удалению.



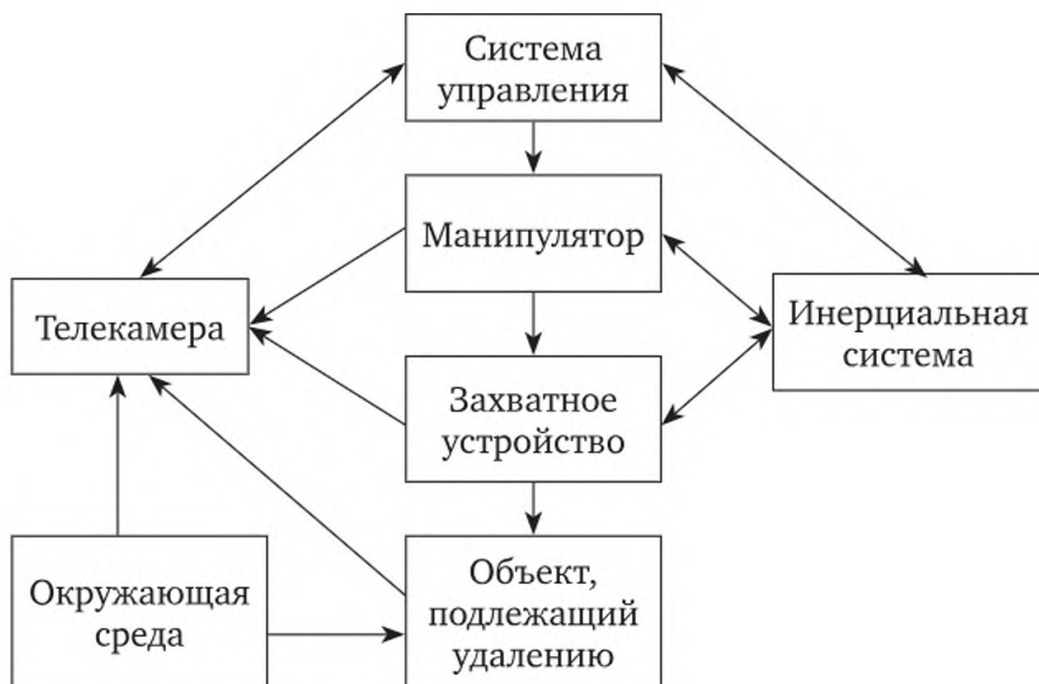


Рис. 3.2. Схема функционирования измерительного блока

В случае обнаружения объекта система управления задействует инерциальную систему для навигации и контроля движения захватного устройства с высокой точностью, позволяющей использовать характерные параметры обнаруженного объекта для его захвата.

Система технического зрения (СТЗ) предназначена для осмотра полости котла реактора с помощью телекамеры, установленной на манипуляторе. Управление СТЗ производится в автоматизированном режиме с использованием компьютера. Перед началом работы котла производится осмотр его полости из различных положений манипулятора. Серия полученных в процессе осмотра опорных изображений запоминается в памяти компьютера с указанием координат точек наблюдения. В процессе последующей проверки котла он осматривается ТВ-камерой из тех же точек наблюдения, а полученные изображения сравниваются с опорными изображениями. В результате попарного сравнения этих изображений обнаруживаются дефекты и выявляются их позиции на изображениях.

Для измерения трехмерных координат в точках, представляющих интерес, манипулятор по команде оператора осуществляет параллельный перенос ТВ-камеры, что позволяет получить стереопару изображений и автоматически вычислить по ней трехмерные координаты для любой точки, указанной оператором на одном из парных стереоизображений.

В системе технического зрения предусмотрены следующие функции:

- совмещение моноизображений (эталонного и текущего) программными средствами по критерию наименьшего рассогласования;
- анализ моноизображений для обнаружения инородных объектов и идентификации зоны внимания;
- измерение трехмерных координат в зоне внимания по стереоизображениям.

Реализация первых двух функций требует разработки проблемно ориентированных алгоритмов и соответствующих программных средств. Вторая функция может быть выполнена оператором посредством визуального анализа изображений или автоматически с помощью алгоритмов идентификации. Уровень проработки СТЗ включает визуальный анализ моноизображений с целью обнаружения инородных объектов и автоматизированное измерение трехмерных координат по указанию оператора (третья функция). Программное обеспечение для выполнения перечисленных функций позволяет работать в режиме реального времени, которое определяется реакцией оператора на обстановку внутри атомного реактора.

*Система визуализации* и дистанционных измерений является неотъемлемой частью робототехнического комплекса и позволяет производить измерения, ориентироваться в обстановке и взаимодействовать с окружающей средой. Для доставки конечного звена манипулятора к постороннему предмету с целью его извлечения требуется непрерывная обратная связь, получаемая от системы зрения. Для управления роботом с целью извлечения посторонних предметов недостаточно только структурного описания сцены и обобщенного геометрического представления объектов. При проведении этих ответственных работ в сложных условиях требуются надежные и точные стереофотограмметрические измерения под контролем человека-оператора.

В настоящее время в качестве конечного результата систем технического зрения преимущественно используется структурное представление сцены, обобщенное геометрическое представление объектов сцены в сочетании со стереовизуализацией. Применительно к рассматриваемой задаче наиболее подходящей является оптическая система, позволяющая получать визуальную информацию о внешней среде практически

без ограничения по дальности, с измерением координат точек в ближайшей зоне методами триангуляции. Роботы, оснащенные такими системами, считаются «зрячими», про них говорят, что они обладают системами «зрения роботов». Зрение робота является подклассом технического зрения в том смысле, что оно использует принципы технического зрения для решения прикладных задач в условиях временных ограничений. Круг вопросов, решаемых в машинном зрении, связан с разработкой теории, методов и алгоритмов анализа изображений. Взаимосвязь зрения робота, технического зрения и машинного зрения иллюстрируется схемой, показанной на рис. 3.3.



**Рис. 3.3. Принципиальная схема человеко-машинной системы для управления роботом с использованием технического зрения**

Для управления роботом с участием человека-оператора может быть использована концепция обобщенной *интеллектуальной машины*. Главными функциями, реализованными в интеллектуальной машине, являются инструкции для понимания окружающей обстановки и принятия решения, поступающие от оператора (рис. 3.4).

Инструкция понимания предполагает наличие взаимодействия человека-оператора с машиной. Создание удобного и эффективного человеко-машинного интерфейса представляется ключевой проблемой.

При этом человек-оператор организует целенаправленное поведение робота с учетом изменяющейся внешней среды. Значительная роль в этой концепции отводится зрению. Именно зрение робота осуществляет обратную связь, необходимую для управления роботом, причем ее реализация связана с быстрой

обработкой и анализом получаемых изображений с целью построения трехмерного описания среды окружения робота. Эта информация используется для управления безопасным перемещением манипулятора и извлечением посторонних предметов. Система должна обладать дополнительными измерительными функциями для получения дальнометрической информации в реальном масштабе времени, причем реальный масштаб времени определяется оператором. Фотограмметрическая система зрения, предназначенная для использования в системе управления роботом, должна удовлетворять определенным требованиям, а именно, характеризоваться приспособляемостью получаемой трехмерной модели функционального пространства к задачам управления и способностью производить высокоточные и надежные по избыточным показаниям датчика измерения.

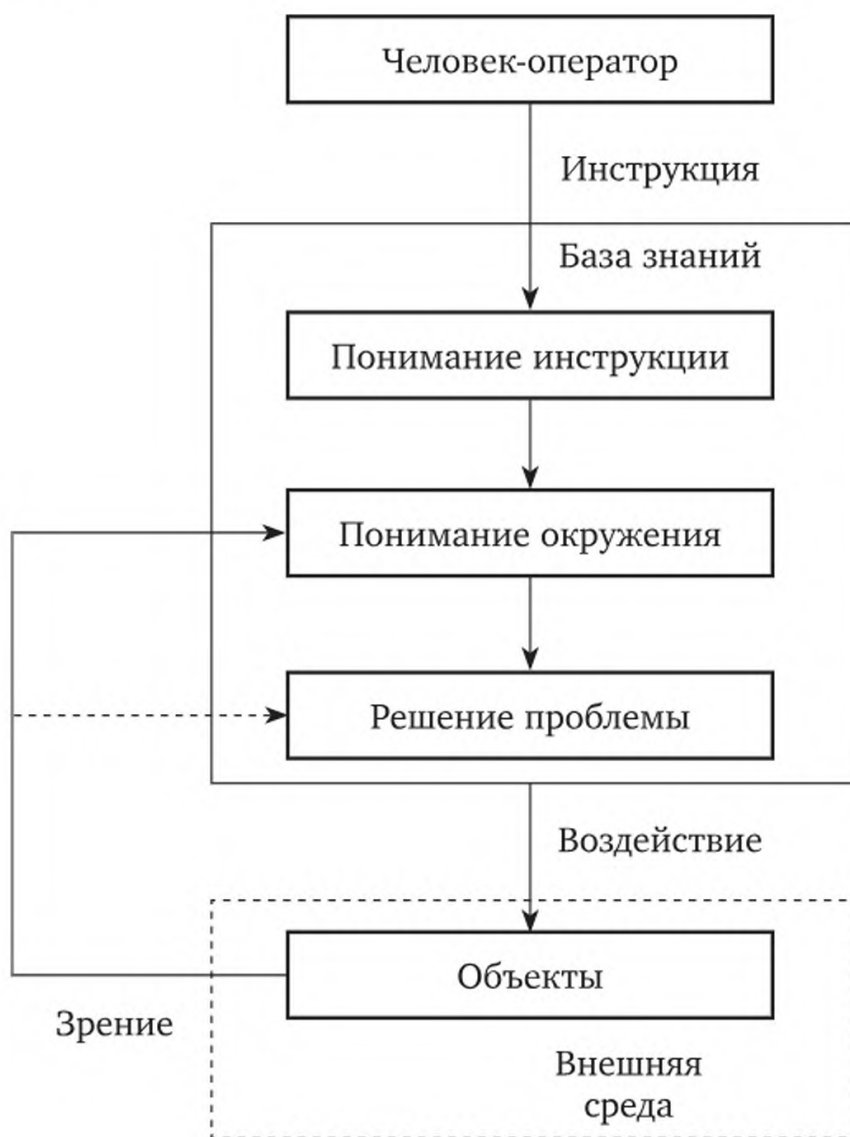


Рис. 3.4. Схема принятия решения



Управление роботом в режиме реального времени требует не только большой скорости ввода изображений, но и высокой скорости его обработки на всех уровнях. Стандартная твердотельная камера позволяет формировать видеоданные со скоростью, определяемой частотой 25 Гц, образуя при этом кадр объемом 0,25 Мб, что дает величину скорости ввода равную 6,25 Мб/с или 12,5 Мб/с для стереопары. Эта скорость определяет требования к обработке данных в стереотелевизионной системе зрения. Использование мощных универсальных вычислительных средств последовательного действия не позволяет с требуемой скоростью обрабатывать одиночные кадры (*монокадры*) даже простейшими алгоритмами локальной фильтрации с вычислением среднего. В результате, для того чтобы получить обработку видеоданных в реальном времени или с близкой к нему скоростью, алгоритмы должны быть реализованы аппаратно. С этой целью производится разбиение обработки стереоизображений на отдельные этапы, которые реализуются с помощью соответствующих аппаратных средств.

Другой способ уменьшения времени на обработку стереоизображений и получения требуемой информации об окружающей среде состоит в разработке человеко-машинных измерительных систем, например, на основе персонального компьютера. В таких системах нет необходимости обрабатывать все изображение. Оператор выбирает нужный фрагмент или точку, представляющие для него интерес. С помощью метода триангуляции, обычно используемого в машинном стереозрении, измеряются трехмерные координаты указываемых оператором точек на изображении. Благодаря участию оператора процесс обработки изображения локализуется и ограничивается лишь определенной областью внимания. Это существенно уменьшает объем обрабатываемых данных и ускоряет анализ изображения. Оператор воспринимает сцену, наблюдая ее двухмерное изображение на экране дисплея. Для интерпретации расположения объектов сцены в трехмерном пространстве используются координаты измеренных точек, и возможно применение простой геометрической модели объектов внешней среды, построенной по этим точкам. В других человеко-машинных измерительных системах оператор наблюдает сцену стереоскопически, используя для этого жидкокристаллические очки.

Одна из таких интеллектуальных человеко-машинных систем предназначена для управления в реальном масштабе вре-

мени манипуляционной рукой. Она оснащена видиконными камерами, установленными на конечном звене манипулятора по принципу «глаз в руке». Целью измерений служит определение координат контрольных точек в камерной системе для получения информации о положении захватного устройства по отношению к стыковочному узлу приближающегося объекта.

Для автоматизации операций по очистке от радиоактивных загрязнений используется мобильный комплекс дезактивации, в состав которого входит робот горизонтального перемещения с роботом вертикального перемещения на борту.

Схема комплекса дезактивации приведена на рис. 3.5.

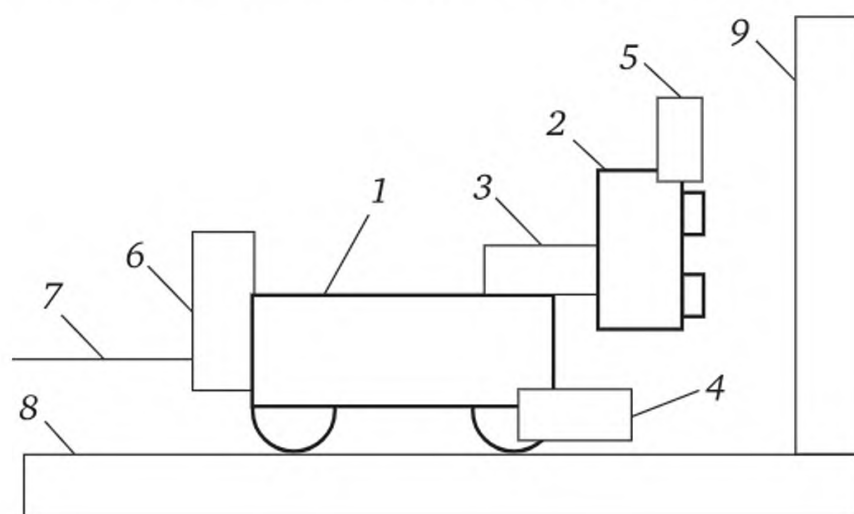


Рис. 3.5. Схема комплекса дезактивации поверхностей:

- 1 — робот горизонтального перемещения, 2 — робот вертикального перемещения, 3 — блок сопряжения роботов вертикального и горизонтального перемещения, 4 — блок горизонтальной очистки, 5 — блок вертикальной очистки, 6 — пульт управления, 7 — канал управления, 8 — поверхность горизонтальной обработки, 9 — поверхность вертикальной обработки

Управление комплексом может осуществляться от единого пульта, в автономном, супервизорном или автоматическом режимах. Пульт управления находится в отдельном помещении на безопасном расстоянии от места выполнения работ роботом в экстремальной среде.

На первом этапе работ производится очистка горизонтальной поверхности с помощью соответствующего технологического оборудования, установленного на роботе горизонтального перемещения. Далее робот горизонтального перемещения, используя блок сопряжения, стыкует робот вертикального перемещения с поверхностями вертикальной обработки. Робот

вертикального перемещения осуществляет дезактивацию этих поверхностей сверху вниз. После завершения операции робот вертикального перемещения в автоматическом режиме закрепляется на борту робота горизонтального перемещения, и мобильный комплекс возвращается на исходную позицию.

Для вертикального перемещения робот использует педипуляторы. *Педипулятором* называется часть мобильного робота, предназначенная для воспроизведения функций опорно-двигательного аппарата человека или животного.

В составе роботов вертикального перемещения педипуляторы, кроме опорно-двигательных функций, должны также выполнять функции фиксации робота на поверхности перемещения.

Из всех известных способов фиксации наиболее универсальным в смысле количества видов поверхностей перемещения, на которых возможна работа робота, является вакуумный способ фиксации с помощью *вакуумных захватов* (ВЗ).

В общем случае ВЗ можно классифицировать следующим образом:

- по типу источника вакуума — эжекторные, с вакуумным насосом, термосорбционные и с вентиляторным двигателем;
- по сложности — простые, с контролем, адаптивные, с аварийной фиксацией, со встроенным технологическим инструментом;
- по виду рабочей поверхности — однородные, специальные;
- по типу используемых датчиков — с датчиками наличия поверхности, качества поверхности, степени вакуума, температуры поверхности и проскальзывания.

В общем случае ВЗ имеет структуру, включающую эластичный захват, внутри которого находятся опора сцепления, жестко соединенная с приводом подъема-опускания. Он оснащен датчиком положения, реализующим обратную связь с системой управления робота.

### **3.2. Противопожарные операции**

При пожарах резервуаров с топливом необходимо вырезать отверстие над уровнем горящего топлива в стенке резервуара для заведения через него средств пожаротушения. Ручные операции по вырезанию отверстий, когда газосварщиков на люльке автоподъемников поднимают к горящему резервуару, яв-

ляются чрезвычайно опасными для их жизни и здоровья, так как в случае внезапного выброса нефтепродуктов через край резервуара или образуемую прорезь в стенке возможна гибель газосварщиков или тяжелые ожоговые травмы.

Для автоматизации этой операции возможно применение робота вертикального перемещения. В качестве технологического модуля робота используют блок газовой резки, который отличается простотой аппаратного оформления и возможностью дистанционного управления.

Схема пожарного робота приведена на рис. 3.6.

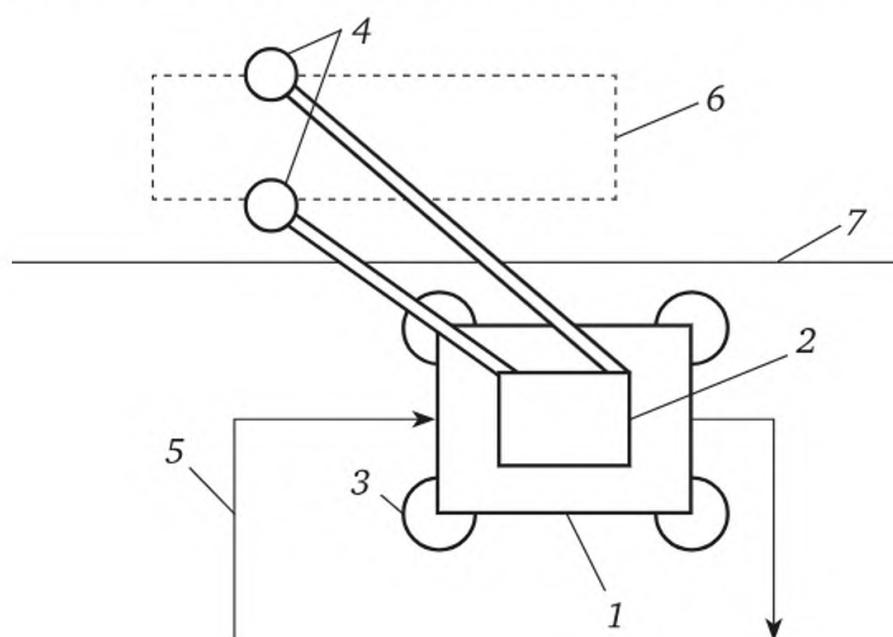


Рис. 3.6. Схема пожарного робота:

1 — транспортный модуль, 2 — технологический модуль,  
3 — педиуплятор, 4 — резаки, 5 — траектория движения робота,  
6 — контур вырезаемого отверстия, 7 — уровень горячей жидкости

Основными модулями робота являются транспортный и технологический. Транспортный модуль связан с блоком управления электрическими коммуникациями, расположенными в защитном кожухе. В этом же теплоизолированном кожухе размещены питающие коммуникации, по которым на борт робота подаются сжатый воздух (для приводов транспортного модуля), рабочие газы (для функционирования резаков технологического модуля), а на управляющие клапаны и устройство запуска резаков, установленных по схеме сдвоенного технологического инструмента, — низковольтное напряжение.

Транспортный модуль имеет две платформы, каждая из которых снабжена группой вакуумных захватных устройств из тер-



мостойкого материала. Обе платформы связаны между собой через узел поворота. Поворот может быть осуществлен относительно любой платформы, находящейся в фиксированном положении.

Технологический модуль размещается на транспортном модуле и содержит блок резки, установленный на кронштейне, длина которого определяется размерами вырезаемого отверстия. Подача рабочих газов для выполнения резки осуществляется посредством дискретных клапанов, которые могут находиться как на борту робота, так и в наземном модуле управления.

Алгоритм выполнения противопожарной операции заключается в установке робота на исходную позицию на стенке резервуара, перемещении робота по стенке до уровня горячей жидкости, вырезании отверстия в стенке, возврате робота на исходную позицию и снятии робота со стенки резервуара. Установка робота на исходную позицию и его снятие с резервуара производятся автоматически с пожарной машины при помощи телескопических устройств.

Вид пожарного робота на резервуаре представлен на рис. 3.7.



*Рис. 3.7. Пожарный робот на резервуаре*

Перемещение робота по резервуару до уровня горячей жидкости производится программным способом, обеспечивающим дискретное пошаговое вертикальное движение транспортного модуля.

При пересечении уровня горячей жидкости датчик температуры, установленный на кронштейне технологического модуля, реагирует на перепад температур стенки резервуара, идентифицируя тем самым расположение транспортного модуля под уровнем горячей жидкости в зоне более низких температур и установку блока резки над уровнем, как это предусмотрено технологией выполнения противопожарной операции. После этого осуществляется вырезание отверстия в стенке резервуара.

Прохождение контура отверстия начинается с левого нижнего угла путем включения верхнего резака и движения транспортного модуля вверх со скоростью, необходимой для вырезания стенки резервуара. После достижения верхним резакom левого верхнего угла отверстия нижний резак занимает положение в левом нижнем углу, платформа транспортного модуля разворачивается на  $90^\circ$  вправо, сохраняя положение технологического модуля с резаками в неподвижном состоянии. После включения нижнего резака начинается движение вправо с вырезанием верхней и нижней части контура. При достижении резаками правой границы контура отверстия производится включение нижнего резака и поворот платформы еще на  $90^\circ$ , что обеспечивает возможность движения робота вниз. В правом нижнем углу происходит замыкание контура. Вырезанный металл под действием собственной силы тяжести выпадает с внешней стороны резервуара, при этом робот находится в безопасном положении вне зоны под контуром. Далее робот продолжает движение вниз на исходную позицию для снятия со стенки резервуара.

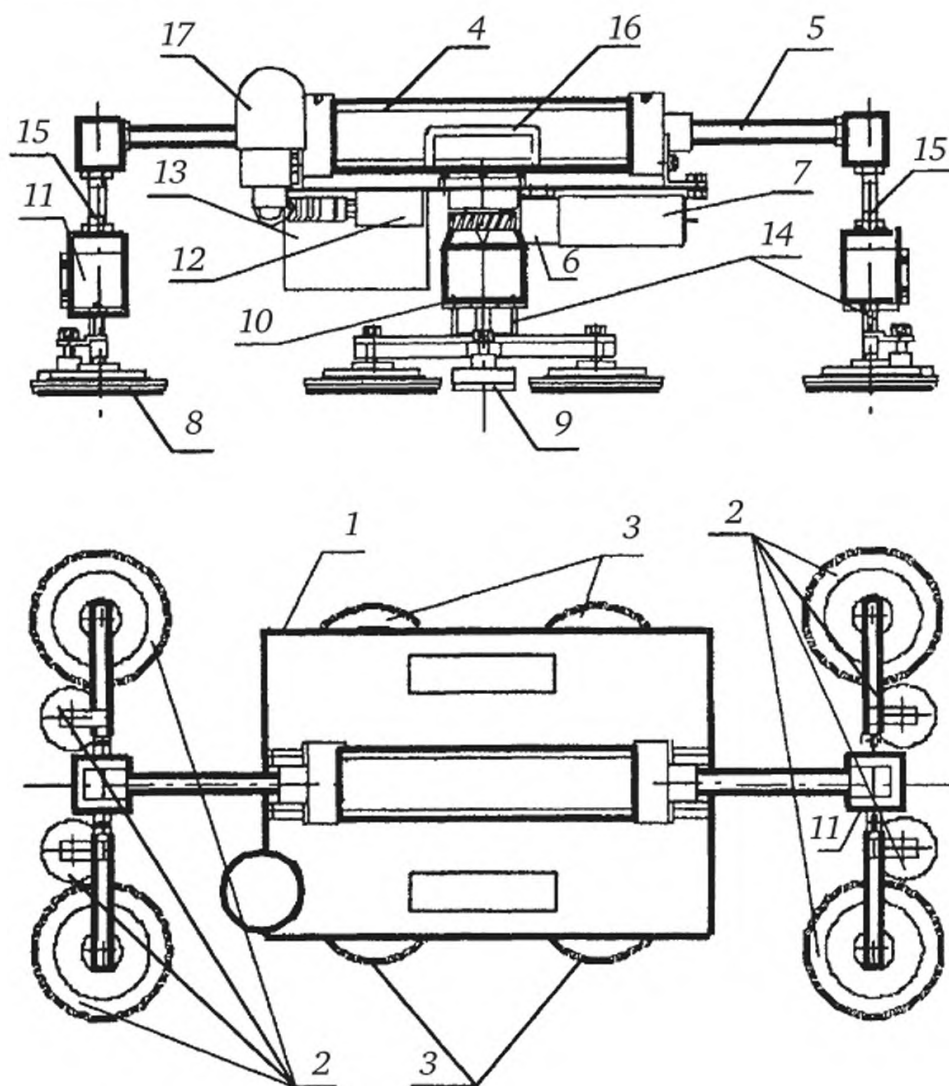
В целях защиты робота от теплового излучения, исходящего от нагретой поверхности перемещения, корпус закрывается обшивкой из теплоотражающей металлизированной кремнеземной ткани. При этом защита выполнена в виде двух оболочек, одна из которых закрывает внутреннюю платформу, а другая — всю конструкцию в целом. Охлаждение конструкции робота под оболочками обеспечивается за счет протока отработанного воздуха из пневмоэлементов приводных систем робота.

### **3.3. Работы на высотных конструкциях**

Для обеспечения возможности автоматизировать выполнение различных технологических операций на высотных конструкциях, в частности, в строительстве, используется робот

вертикального перемещения со сменным технологическим модулем. С помощью этого робота можно выполнять операции инспекции, покраски, сверления, монтажа дюбелей, очистки, шлифовки и другие.

Схема *строительного робота* вертикального перемещения показана на рис. 3.8.



**Рис. 3.8. Схема робота для высотных конструкций:**

1 — платформа, 2 — внешние педипуляторы, 3 — внутренние педипуляторы, 4 — транспортный цилиндр, 5 — шток, 6 — узел поворота, 7 — электромотор, 8 — силовые вакуумные захваты (ВЗ), 9 — уплотняющие ВЗ, 10 — внешние цилиндры ВЗ, 11 — внутренние цилиндры ВЗ, 12 — силовой эжектор, 13 — блок управления, 14 — силовые направляющие, 15 — узел настройки, 16 — ручки, 17 — видеокамера

Полость эластичного захвата связана с эжектором. Эластичный захват выполняет функцию элемента, герметизирующего вакуумируемый объем вакуумных захватов (ВЗ) при фикса-

ции. Опора сцепления, кроме функции несущей конструкции, обеспечивает механическую фиксацию за счет сил сцепления с поверхностью, возникающих одновременно с вакуумированием полости эластичного захвата путем прижатия опоры к поверхности. Для увеличения сил фиксации в ряде случаев опору сцепления выполняют с остроконечными выступами.

Привод подъема-опускания, связанный с корпусом робота, осуществляет ввод эластичного захвата с опорой сцепления в контакт с поверхностью фиксации и возврат ВЗ в исходное положение после отключения эжектора для реализации очередного шага робота.

Применением эжектора в качестве источника вакуума в ВЗ объясняется возможность его независимого использования на каждом ВЗ робота, что необходимо для надежности его функционирования. Важными преимуществами эжекторов при этом являются их малые габариты и вес, а также исключение необходимости подвода вакуумного канала на высоту перемещения робота. Датчик вакуума контролирует минимально допустимое разрежение в полости захвата. Шарнирное соединение между выходным звеном привода подъема-опускания и опорой сцепления обеспечивает расположение опоры при ее контакте с поверхностью фиксации по максимальной площади.

Целесообразность использования пневмопривода в составе ВЗ объясняется возможностью применения одного источника питания в виде сжатого воздуха, как для вакуумирования эластичного захвата, так и для его перемещения.

Конструкция транспортного модуля робота показана на рис. 3.9.

Стандартные силовые захваты имеют фиксирующие усилия, превышающие 1000 Н, однако они нуждаются в начальном усилии прижатия порядка 150 Н для того, чтобы уплотнить неровности поверхности перемещения. С другой стороны, мало-мощные эластичные захваты могут уплотнять неровности без существенного начального усилия прижатия. Однако, они не в состоянии развивать значительное захватывающее усилие из-за недостаточной прочности своих рабочих поверхностей. Комбинация указанных двух видов захватов делает возможным осуществление высоких захватывающих усилий на поверхностях с существенными неровностями.

Принцип такой *двухступенчатой системы захвата* проиллюстрирован на рис. 3.10.



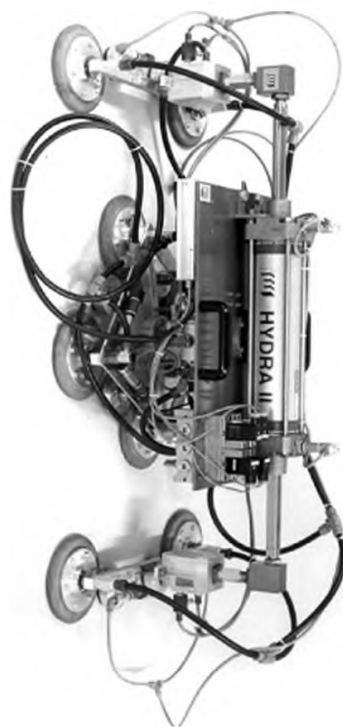


Рис. 3.9. Конструкция транспортного модуля робота

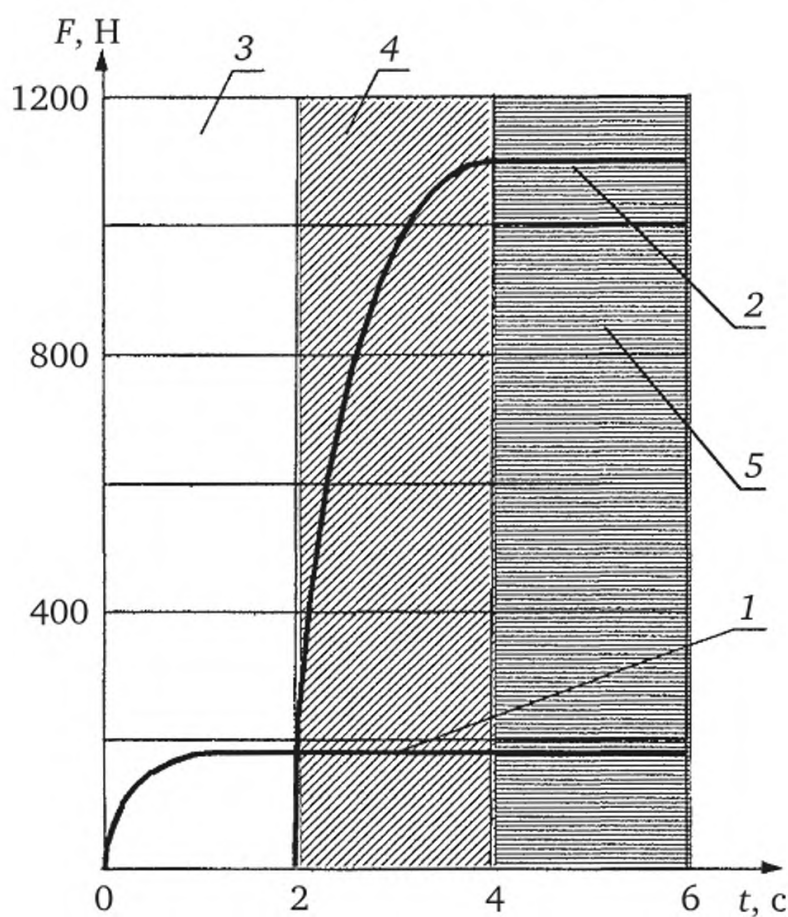


Рис. 3.10. Двухступенчатая система захвата:

1 — динамическая характеристика уплотняющего захвата,  
 2 — динамическая характеристика силового захвата, 3 — степень  
 уплотнения, 4 — степень силового захвата, 5 — рабочая зона

В начальный момент задействуются только уплотняющие захваты. Они уплотняют неровности под силовыми захватами, обеспечивая необходимый для этого начальный момент прижатия. Таким образом, осуществляется первая ступень захвата. Переходное время данной ступени составляет около 1,7 секунды.

Далее задействуется вторая ступень захвата. В результате силовые захваты осуществляют фиксацию робота на поверхности перемещения. Переходный период силовой фиксации составляет около 2 секунд. Таким образом, общее время двухступенчатого захвата около 4 секунд, после чего начинается перемещение одной группы педипуляторов относительно другой в рабочей зоне.

Благодаря разделению источников вакуума для силовых и уплотняющих захватов достигается двойная страховка по питанию. Количество уплотняющих захватов рассчитывается исходя из возможности удержания веса робота в стационарном состоянии.

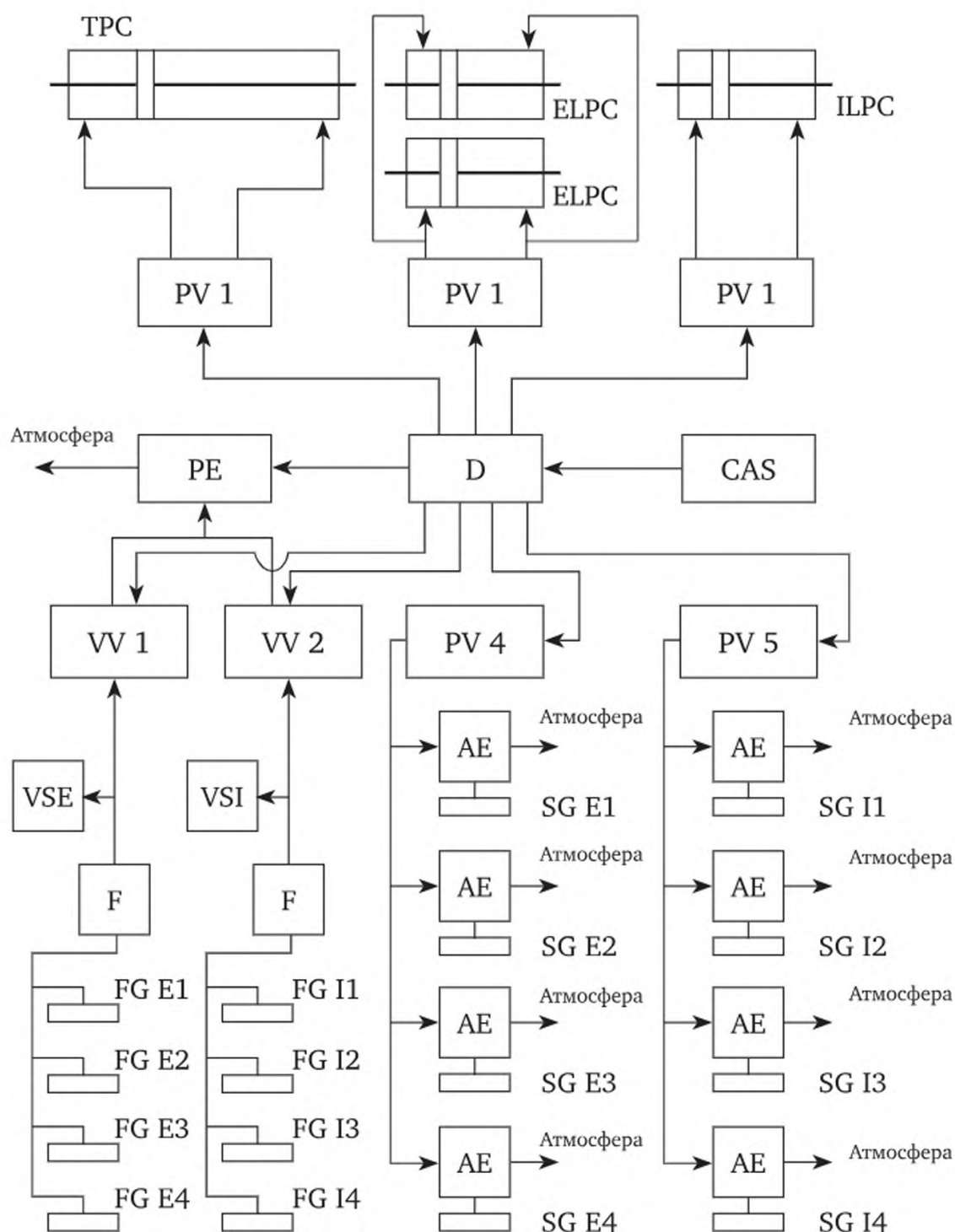
Допустимая кривизна поверхности перемещения регулируется с помощью настроечного узла, установленного в педипуляторах. Число и размеры захватов могут варьироваться в зависимости от свойств поверхности перемещения и окружающей среды.

Пневматический контур робота показан на рис. 3.11.

Все силовые ВЗ связаны с одним многокаскадным эжектором, а каждый уплотняющий ВЗ имеет свой автономный встроенный эжектор.

Компьютерный интерфейс реализует мониторинг состояния системы приводов и обеспечивает возможность корректировать и задавать программные движения робота. Мониторинг реализуется с помощью обратной связи в контуре управления от датчиков состояния системы приводов и окружающей среды. Наиболее универсальным датчиком состояния окружающей среды является видеокамера. С ее помощью реализуется также инспекция поверхности перемещения. Благодаря универсальности возможных направлений движения робота обеспечивается широкий набор объектов и видов инспекции.

С помощью робота можно производить автоматическую покраску поверхностей большой площади, имея на борту необходимый запас краски. В этом случае отпадает необходимость использования высокомошных насосов для подачи краски в рабочую зону робота на высокие уровни.



**Рис. 3.11. Пневматический контур робота:**

CAS — источник сжатого воздуха, D — распределитель, VV — вакуумный клапан, PV — клапан давления, TPC — транспортный пневматический цилиндр, ELPC — внешний подъемный цилиндр, ILPC — внутренний подъемный цилиндр, FG — силовой ВЗ, SG — уплотняющий ВЗ, PS — вакуумный датчик, PE — многокаскадный эжектор, AE — автономный эжектор, F — фильтр, E — внешний, I — внутренний

Схема установки краскопульты на роботе приведена на рис. 3.12.

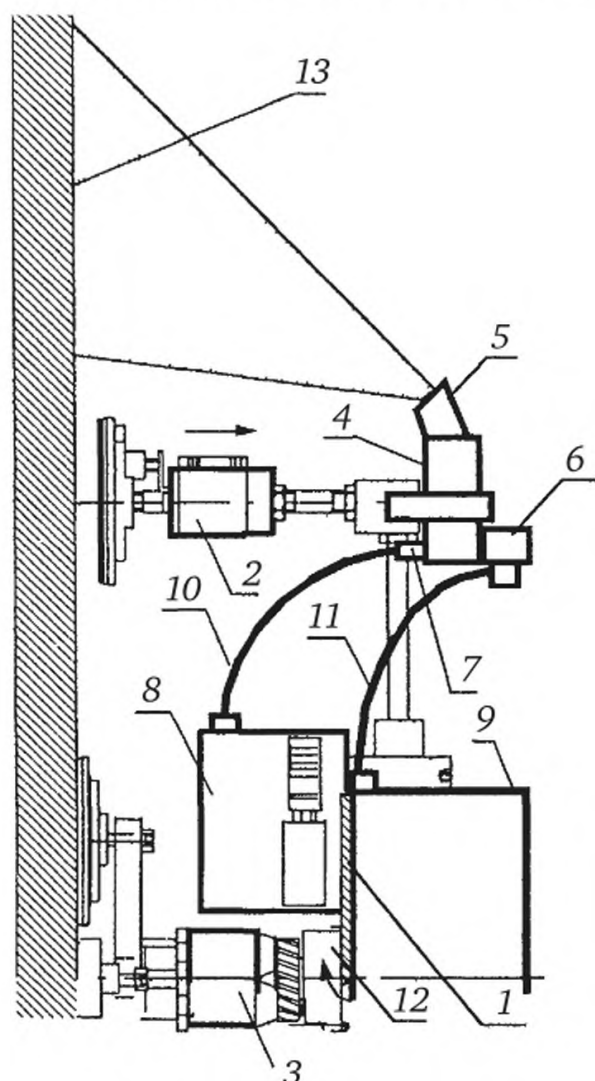


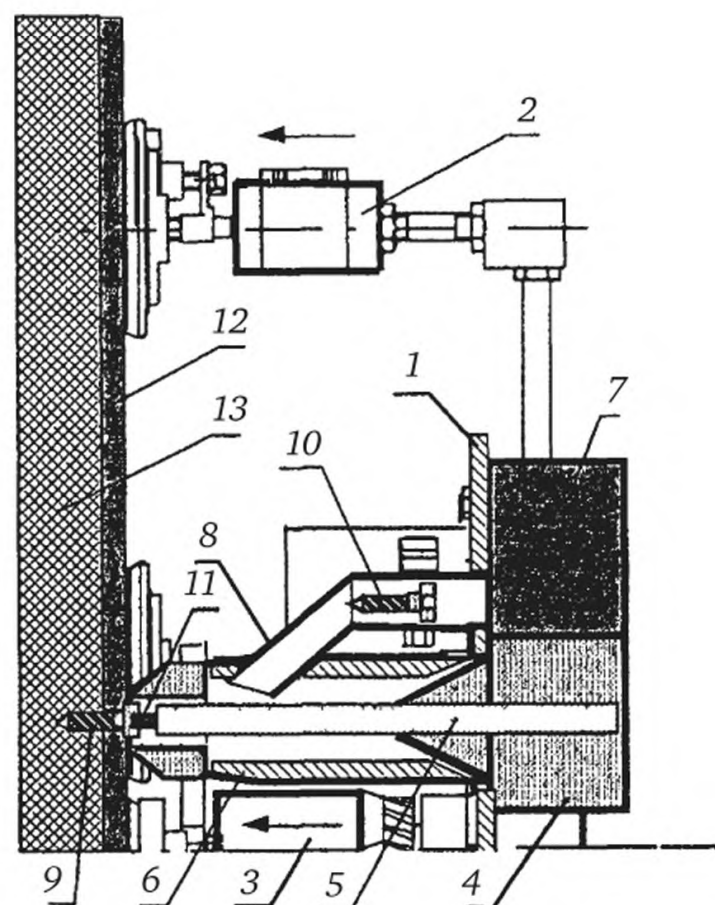
Рис. 3.12. Покраска поверхностей:

1 — платформа робота, 2 — внешний подъемный цилиндр, 3 — внутренний подъемный цилиндр, 4 — краскопульт, 5 — сопло, 6 — вход подачи краски, 7 — вход управления, 8 — блок управления подачей краски, 9 — резервуар с краской, 10 — пневматическая линия управления, 11 — линия подачи краски, 12 — узел вращения, 13 — окрашиваемый сектор обрабатываемой поверхности

Краскопульт устанавливается в верхней части передних педипуляторов. Резервуар с краской размещается на платформе и соединяется с краскопультом с помощью гибких шлангов. При движении сверху вниз через каждый рабочий шаг окрашивается очередной сектор поверхности путем вращения платформы с краскопультом вокруг оси поворота робота при зафиксированных внутренних педипуляторах.

На рис. 3.13 дан вариант использования робота для автоматического завинчивания.





**Рис. 3.13. Автоматическое завинчивание:**

1 — платформа, 2 — внешний подъемный цилиндр, 3 — внутренний подъемный цилиндр, 4 — привод вращения, 5 — шпindel, 6 — корпус привода, 7 — магазин винтов, 8 — направляющие, 9 — рабочий винт, 10 — очередной винт, 11 — рабочий орган, 12 — поверхность перемещения, 13 — соединяемая поверхность

Операция автоматического завинчивания винтов производится с помощью установленного на платформе робота технологического блока, включающего привод подачи, и вращательного движения, а также магазина винтов, осуществляющего последовательную автоматическую засылку винтов в рабочую зону. Технологическая операция происходит при зафиксированных как внутренних, так и внешних педипуляторах для повышения жесткости конструкции во время операции.

Процесс очистки и шлифовки вертикальных поверхностей происходит, в отличие от рассмотренных операций, при зафиксированных внешних педипуляторах и свободных внутренних педипуляторах, что позволяет установленному на платформе технологическому инструменту совершать возвратно-поступательные движения посредством транспортного привода робота. Схема очистки и шлифовки представлена на рис. 3.14.

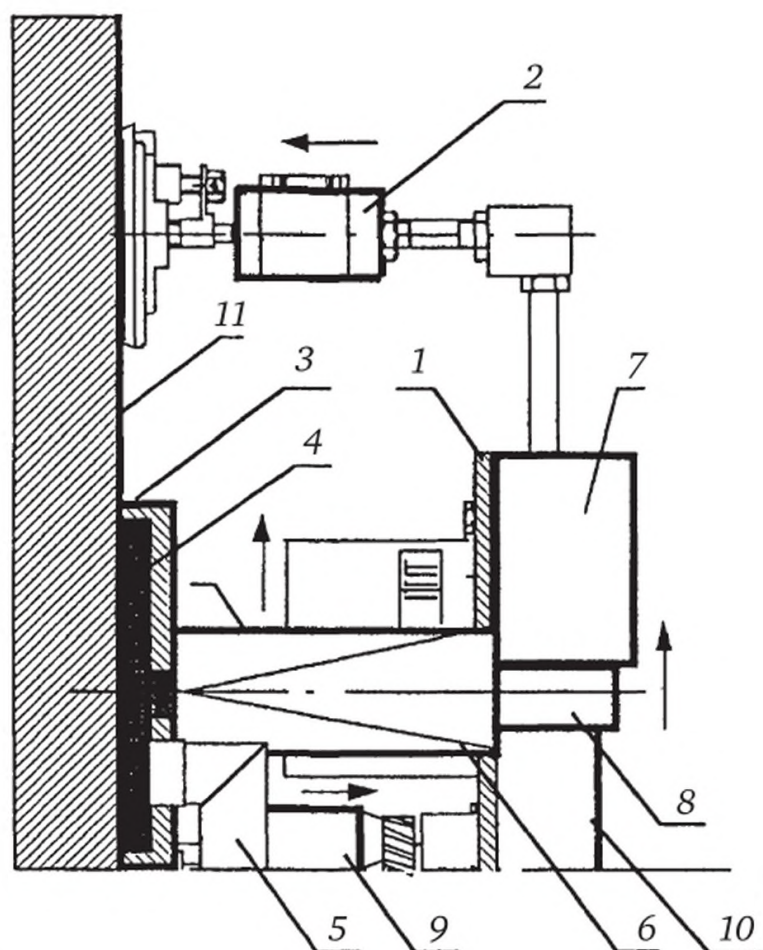


Рис. 3.14. Очистка и шлифовка вертикальных поверхностей:

1 — платформа, 2 — внешний подъемный цилиндр, 3 — корпус рабочего инструмента, 4 — рабочий инструмент, 5 — вакуумный канал, 6 — трансмиссия, 7 — привод инструмента, 8 — редуктор, 9 — внутренний подъемный цилиндр

Платформа с опущенными внешними подъемными цилиндрами и поднятыми внутренними подъемными цилиндрами прижимает рабочий инструмент с корпусом к обрабатываемой поверхности. После этого задействуется привод, который через редуктор и трансмиссию осуществляет вращение инструмента.

Обрабатываемый сектор поверхности определяется шириной инструмента и длиной рабочего хода транспортного цилиндра робота. Количество циклов движения транспортного цилиндра с инструментом рассчитывается исходя из требуемого качества обработки поверхности. Загрязнения и абразивные частицы с поверхности удаляются из рабочей зоны через вакуумный канал.

Вариант конструктивного исполнения робота для очистки вертикальных поверхностей с пневмодвигателем технологического привода показан на рис. 3.15.



**Рис. 3.15. Робот для очистки вертикальных поверхностей с пневмодвигателем технологического привода**

Монтаж дюбелей является сложной технологической операцией, которая распространена при строительстве и ремонте зданий и сооружений. Данная операция является трудоемкой и дорогостоящей при выполнении вручную на вертикальных поверхностях, особенно на больших высотах. Монтаж дюбелей производится также в условиях опасной радиации во время консервации атомных станций. Кроме этого, операции по вставлению дюбелей со взрывными зарядами при разборке бетонных и стальных конструкций используются для разборки атомных реакторов.

Конструкция робота для автоматизации монтажа дюбелей представлена на рис. 3.16.

Монтаж дюбелей состоит из последовательности сверления базового отверстия и автоматической вставки болта в это отверстие и выполняется после транспортного движения робота в рабочую зону. Блок сверления выполняет свою операцию посредством соединенного с ним цилиндра подачи. Во время сверления все захваты зафиксированы на поверхности. После операции сверления робот перемещается на один шаг таким образом, что блок монтажа оказывается непосредственно над высверленным базовым отверстием. Данный автоматический поиск отверстия обеспечивается тем, что расстояние между

блоком сверления и блоком монтажа дюбелей равно рабочему ходу транспортного цилиндра.

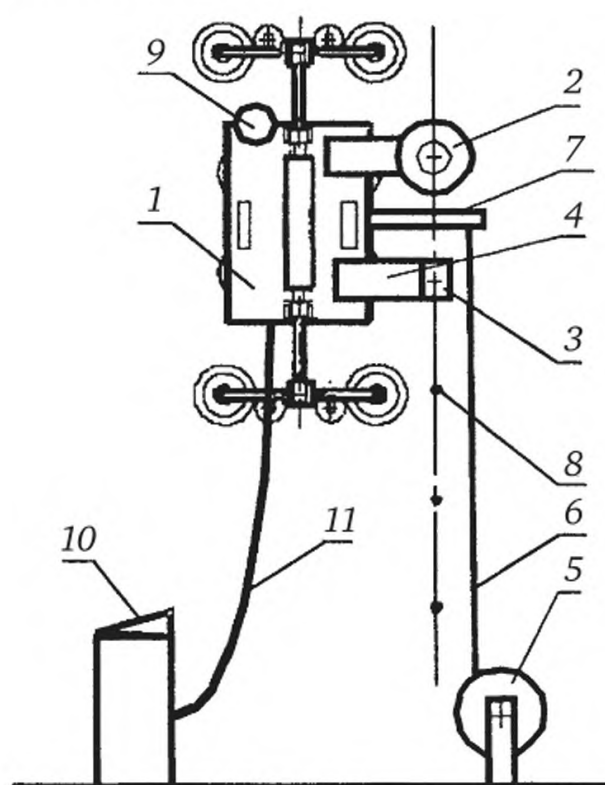


Рис. 3.16. Автоматизация монтажа дюбелей:

1 — платформа робота, 2 — блок сверления, 3 — блок монтажа дюбелей, 4 — магазин дюбелей, 5 — тормозной барабан, 6 — тормозной кабель, 7 — кронштейн, 8 — вставленный дюбель, 9 — видеокамера, 10 — блок управления, 11 — коммуникации

Первый дюбель из магазина вводится в базовое отверстие посредством цилиндра, соединенного с блоком монтажа. В этой позиции все педипуляторы находятся в нижнем положении и зафиксированы на поверхности. После монтажа первого дюбеля из магазина поступает следующий дюбель на рабочую позицию блока монтажа.

Максимальная глубина сверления и ввода дюбелей равна ходу цилиндров соответствующих технологических блоков. Точность операции обеспечивается технологическими направляющими указанных цилиндров и предварительной установкой их рабочих усилий.

В процессе монтажа дюбелей один из концов страховочного кабеля соединяется с платформой робота перед блоком вставления дюбеля, а другой конец соединяется с тормозным барабаном, находящимся в данном случае ниже уровня рабочей зоны робота.



В случае отказа одной из систем робота, приводящего к его отрыву от поверхности перемещения, робот удерживается в рабочей зоне с помощью последнего вставленного дюбеля, за который зацепляется страховочный кабель.

### 3.4. Подводные работы

Подводные работы относятся к работам повышенной опасности из-за риска для водолазов, связанного в первую очередь с глубоководными перегрузками и возможностью повреждения жизнеобеспечивающих систем в процессе выполнения технологических операций под толщей воды.

Для автоматизации инспекции подводных объектов используются автономные *подводные системы*. Типичная конструкция такой системы представлена на рис. 3.17.

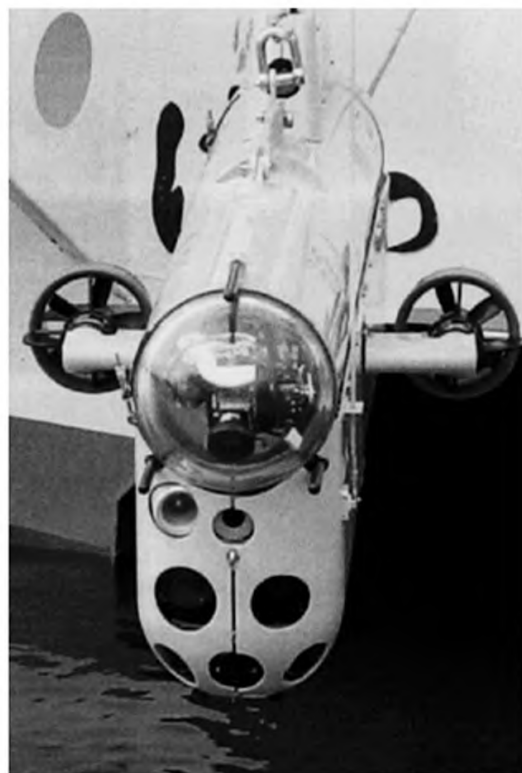


Рис. 3.17. Автономная подводная система

Мобильный модуль имеет длину 2 м и вес в воздухе 180 кг. Максимальная глубина погружения 150 м. За время непрерывной работы система проходит расстояние до 20 км за 12 часов. Система оборудована фронтальными и вертикальными эхолотами с рабочей частотой 175 кГц, позволяющими обнаружить объекты в пределах 30 м. Цифровые видеокамеры передают

оператору пространственное изображение инспектируемых объектов.

Для управления мобильным модулем используется несколько принципов. Контроль траектории по точкам представляет собой навигационное управление по двум или более пространственно отдаленным точкам и может использоваться для отслеживания маршрута движения. Управление по вертикальному движению включает контроль глубины для ее поддержания или изменения с использованием датчика давления. Температурный контроль позволяет системе изменять глубину по кривой, имеющей заданную температуру воды.

В зависимости от задачи система может оборудоваться различными технологическими блоками, не требующими фиксации мобильного модуля на поверхности обработки. Если такая фиксация необходима, как например, в случае обработки подводных конструкций, то для этих целей могут использоваться подводные роботы вертикального перемещения.

К таким процессам с фиксацией мобильного модуля к поверхности обработки относится проведение работ по разборке устаревших конструкций, где встает задача резки стальных элементов под водой. Общая схема подводного робота вертикального перемещения для контактной дуговой резки показана на рис. 3.18.

Общая схема приводной системы робота построена по схеме сканирующего транспортного модуля робота. Он имеет внешнюю и внутреннюю группу педипуляторов с вакуумными захватами. Два горизонтальных транспортных пневматических цилиндра установлены на платформе. Внешняя группа педипуляторов установлена на штоке вертикальных транспортных цилиндров с помощью внешних цилиндров подъема-опускания вакуумных захватов. Внутренняя группа педипуляторов соединена с платформой с помощью внутренних цилиндров подъема-опускания вакуумных захватов.

Каждый вакуумный захват питается от автономного эжектора. Силовые направляющие между вертикальным транспортным цилиндром и платформой позволяют достичь повышенной жесткости робота. Сжатый воздух подается на транспортный модуль по кабелю.

Далее он поступает на блок пневмораспределителей, управляющих пневмоприводами и эжекторами.

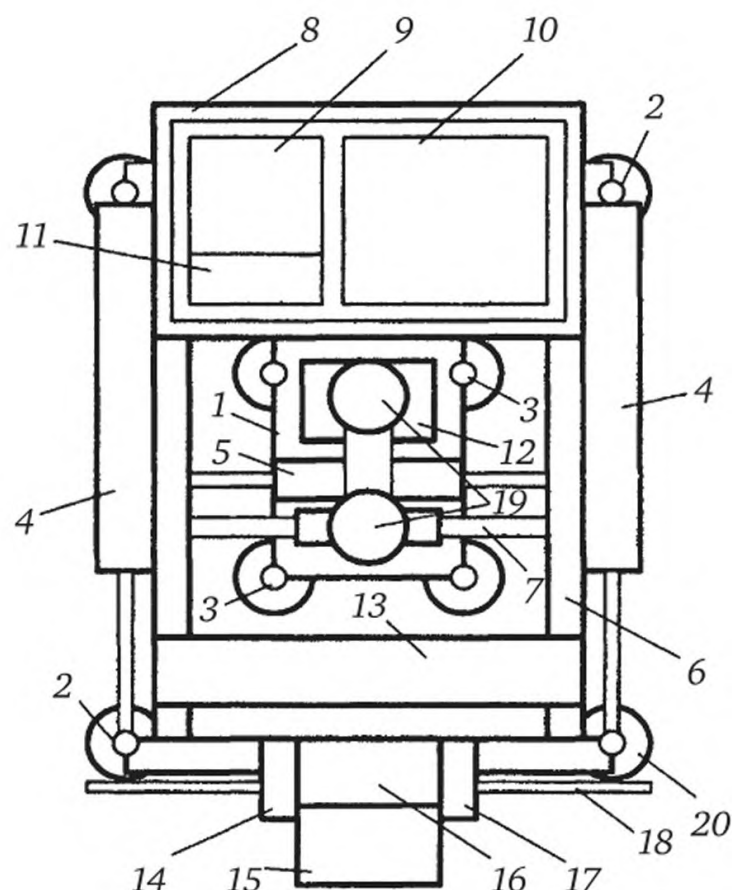


Рис. 3.18. Подводный робот:

1 — платформа, 2 — внешние педиупуляторы, 3 — внутренние педиупуляторы, 4 — вертикальные транспортные пневматические цилиндры, 5 — горизонтальные транспортные пневматические цилиндры, 6 — внешняя рама, 7 — силовые направляющие, 8 — корпус бортовой системы управления, 9 — пневмораспределители, 10 — бортовой компьютер, 11 — датчики вакуума, 12 — эжекторный блок, 13 — каналы питания, 14 — видеоблок, 15 — технологический инструмент, 16 — технологический привод, 17 — технологический датчик, 18 — защитный экран, 19 — захваты внешнего транспортирования, 20 — вакуумный захват

Пошаговое движение платформы осуществляется посредством поочередного соединения внешней и внутренней групп педиупуляторов с поверхностью перемещения посредством вакуумных захватов. Быстрый переход от вертикального движения платформы к горизонтальному возможен благодаря прямому соединению вертикальных и горизонтальных транспортных цилиндров.

Особенностью конструкции является помещение бортового компьютера и блока системы приводов робота в герметичный корпус, установленный на платформе. Выполнение транспортной системы цилиндров, обеспечивающих сканирование по-

верхности, а также диагональные движения робота позволяют реализовывать желаемые траектории движения технологического оборудования.

Для помещения робота на исходную рабочую позицию может быть применено два способа. Первым способом является собственное движение робота из исходной позиции к месту проведения технологической операции. Такой вариант не требует использования дополнительного транспортного оборудования, однако при этом время движения робота ограничено скоростью транспортной системы приводов. Вторым вариантом реализуется посредством внешнего манипулятора, который переносит робот из исходной позиции непосредственно в рабочую зону. В исходной позиции робот соединяется с манипулятором посредством внешней транспортной системы захватов. Таким образом, робот транспортируется в рабочую зону непосредственно через толщу воды с относительно высокой скоростью. После фиксации робота в рабочей зоне транспортная система захватов отсоединяется от манипулятора, и робот производит автономное технологическое движение.

Использование вакуумных захватов с эжекторами под водой имеет ряд особенностей. Прежде всего, разница давления между объемом захвата и внешним давлением зависит от глубины нахождения робота под водой. Чем глубже рабочая зона робота, тем лучше соединение его с поверхностью перемещения из-за увеличения давления воды на 9,8 кПа на метр погружения. В то же время прямое использование пневматических эжекторов под водой требует специальных мер для сохранения их динамических характеристик. Одной из таких мер является применение дополнительного газового объема в выходной линии эжектора, равного эффективному объему пневматических полостей вакуумных захватов.

Вид робота при движении под водой показан на рис. 3.19.

Диаметры вакуумных захватов и их усилия под водой могут быть найдены с помощью диаграммы, приведенной на рис. 3.20.

Вакуумный захват диаметром 100 мм используется в качестве базового варианта. Этот захват обеспечивает усилие удержания в 450 Н при уровне вакуума 60 % на уровне поверхности воды. Под водой сила удержания изменяется пропорционально до 900 Н на глубине Юм. По диаграмме легко найти другие диаметры захватов и удерживающих усилий для различных возможных величин вакуума.



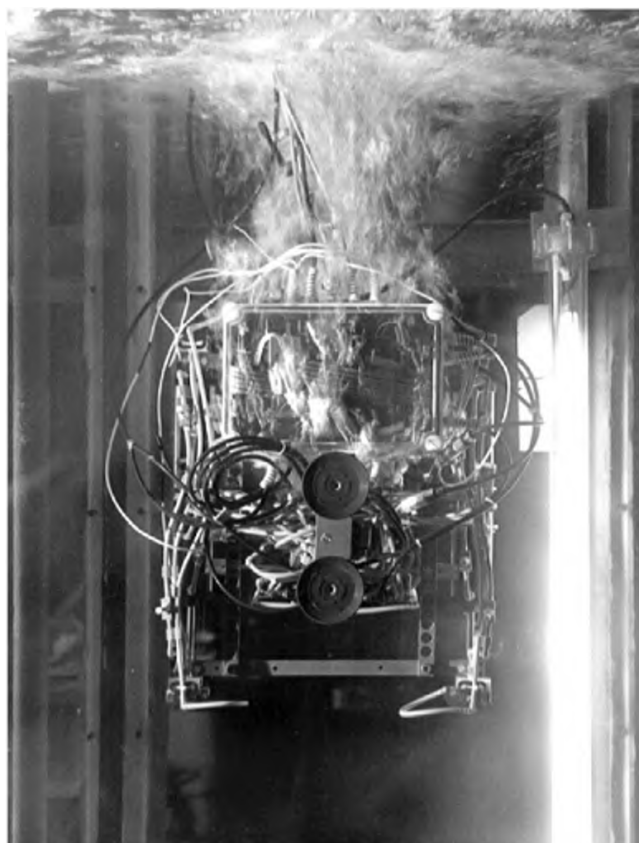


Рис. 3.19. Вид робота при движении под водой

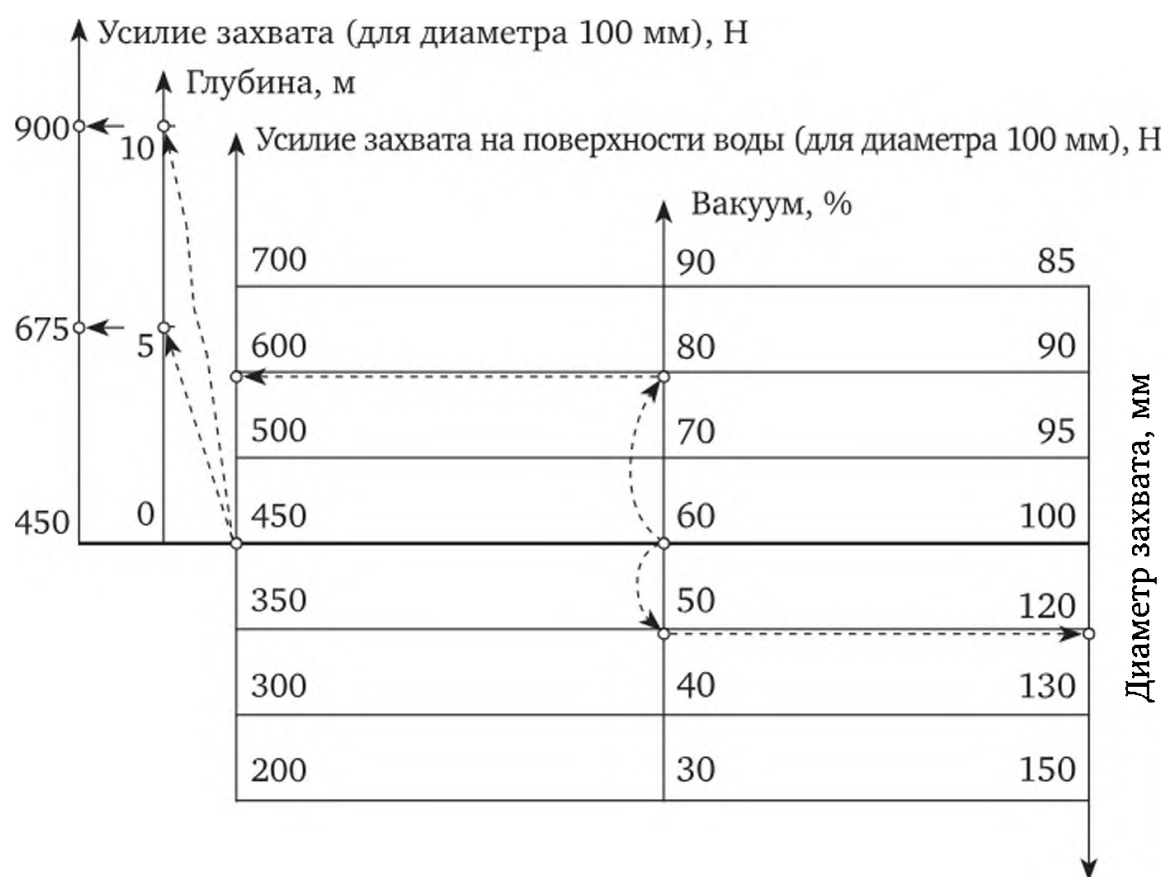


Рис. 3.20. Диаметры вакуумных захватов и их усилия под водой

Надежное функционирование пневматической системы робота зависит от правильного расчета расхода воздуха пневматической системы приводов. Максимальный расход воздуха требуется для эжекторного блока системы. Диаграмма для расчета расхода воздуха в эжекторах при использовании их под водой показана на рис. 3.21.

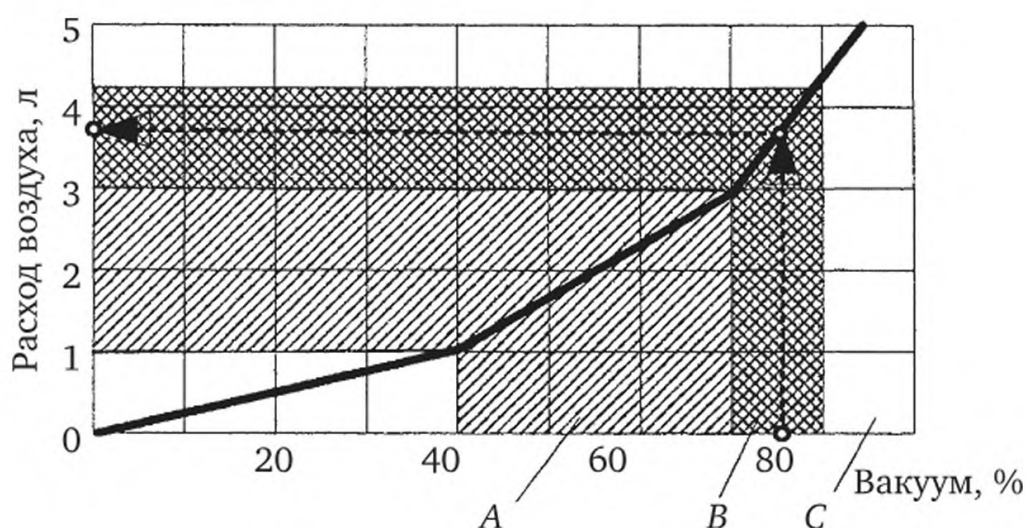


Рис. 3.21. Диаграмма для расчета расхода воздуха в эжекторах

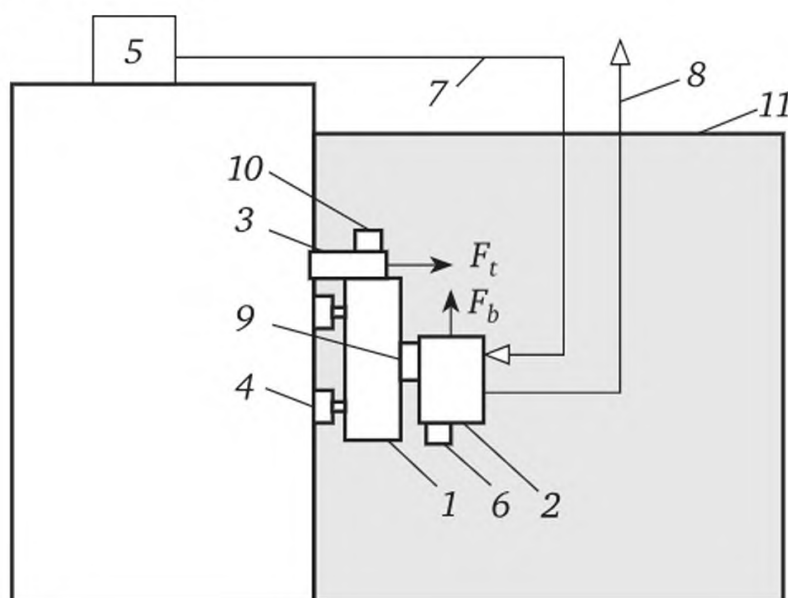
Например, расход воздуха, необходимый для эвакуации воздушного объема в один литр из вакуумного захвата для создания уровня вакуума 75 %, будет равен 3,7 л.

Общий расход, потребляемый эжекторным блоком, находится как сумма расходов по каждому вакуумному захвату. С другой стороны, соответствующее число эжекторов может быть найдено, если принимать во внимание расход при номинальном уровне вакуума в захватах во время непрерывного функционирования эжекторного блока.

Силовая компенсация веса робота и технологического усилия производится за счет выталкивающей силы, действующей на робота во время транспортного и технологического движения под водой. Схема силовой компенсации представлена на рис. 3.22.

Выталкивающая сила автоматически образуется внутри корпуса бортовой системы управления посредством давления воздуха, поступающего в корпус с выходов электропневматических клапанов. В результате формируется избыточное давление внутри герметичного корпуса, создающее подъемную силу робота. Это избыточное давление служит также дополнительной мерой, обеспечивающей водонепроницаемость конструкции.

Величина подъемной силы регулируется с помощью выхлопного клапана в линии соединения корпуса с атмосферой. Величина момента, создаваемого подъемной силой, устанавливается с помощью настроечного кронштейна изменением его длины. Автоматическая адаптация величины подъемной силы для соответствующей компенсации технологического усилия достигается посредством обратной связи по усилию в контуре управления роботом.



**Рис. 3.22. Силовая компенсация веса робота и технологического усилия:**

1 — робот, 2 — корпус бортовой системы управления, 3 — инструмент, 4 — захватное устройство, 5 — компрессор, 6 — выхлопной клапан, 7 — линия давления питания, 8 — линия выхлопа, 9 — настроечный кронштейн, 10 — датчик технологического усилия, 11 — поверхность воды,  $F_t$  — технологическое усилие,  $F_b$  — подъемная сила

Система управления роботом имеет иерархическую структуру, которая приведена на рис. 3.23. Транспортные и технологические движения реализуются в программном и ручном режиме посредством двух компьютеров.

Наземный компьютер используется для управления роботом с помощью графического интерфейса. Программное обеспечение разработано на базе языка программирования С.

Вторым компьютером является бортовой компьютер. Связь между наземным компьютером и бортовым компьютером выполнена посредством серийного интерфейса RS 232. Бортовой компьютер собран на элементной базе ЕРАС 6800 и связан с транспортными и технологическими системами двигателя посредством Р-Bus. Бортовой компьютер использует систему

реального времени PAERL, позволяющую гибко изменять программы управления.

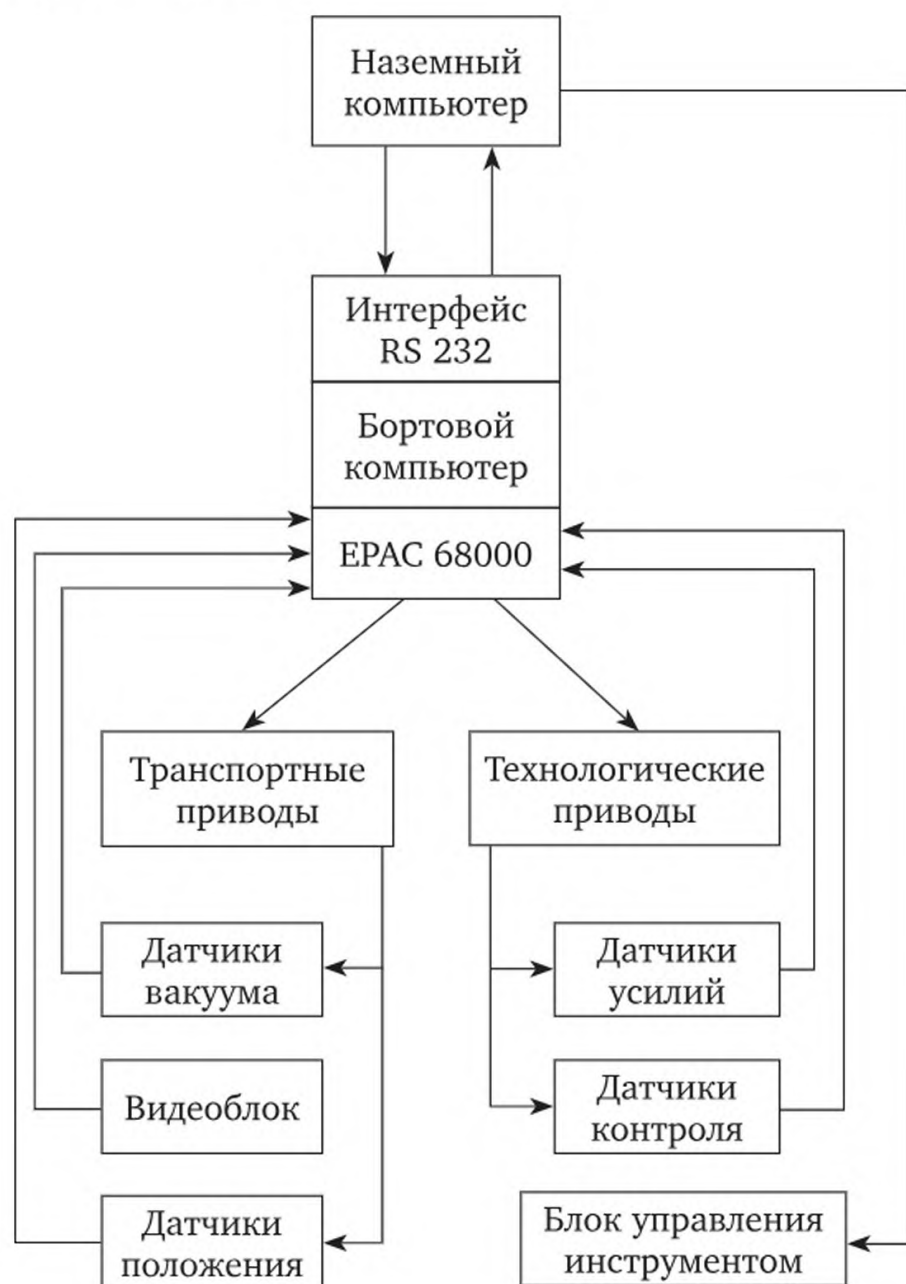


Рис. 3.23. Структура системы управления

Вакуумные линии эжекторов в транспортной системе двигателя связаны с вакуумными датчиками. Вакуумные датчики обеспечивают два рода данных — аналоговые сигналы, соответствующие текущему уровню вакуума, и цифровые данные, которые используются как сигнал нижнего допустимого уровня вакуума, необходимого для надежного захвата. В этом случае контур обратной связи обеспечивает автоматическое изменение положения вакуумного захвата, которое обеспечивает надежную фиксацию с поверхностью перемещения.



Видеоблок транспортной системы служит для дистанционного управления роботом, например в режиме транспортировки робота к рабочей зоне посредством внешнего манипулятора или навигации под водой при собственном движении. Видеоблок состоит из прибора с зарядовой связью и трех сервомоторов, обеспечивающих пространственную ориентацию блока. Датчики положения дают информацию о текущих позициях выходных звеньев приводов. Они позволяют обеспечить необходимую точность траекторий движения.

Блок датчиков технологической системы приводов состоит из датчиков контроля и усилий. С помощью датчика усилий определяется допустимый диапазон сил между инструментом и объектом обработки. Он также дает информацию на клапан, который устанавливает компенсацию технологического усилия выталкивающей силой робота. Датчик контроля проверяет правильность параметров проводимой технологической операции. Например, при резке контролируется глубина прохождения инструмента.

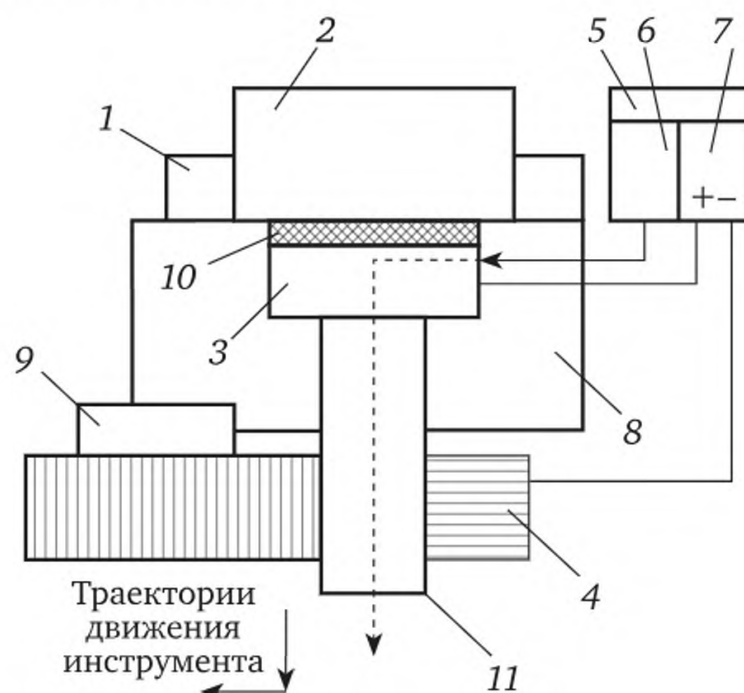
Технологический блок управления инструмента обеспечивает связь между технологической линией питания и инструментом в ходе технологического процесса.

Схема технологического оборудования робота для контактной дуговой резки показана на рис. 3.24.

Технологический инструмент устанавливается на силовой раме робота в его передней части. Он состоит из технологического привода, электрода и системы охлаждения. Блок питания состоит из источника воды под давлением и силового источника напряжения. После того как робот достигает рабочей зоны, технологический привод подводит электрод к объекту с требуемой скоростью.

Через площадь контакта между электродом и объектом начинает протекать ток величиной 4000 А. Материал с площади контакта со стороны объекта испаряется из-за высокой концентрации энергии на данном участке. В образовавшемся зазоре появляется дуга, которая выплавляет материал в области контакта. Расплавленный материал удаляется из рабочей зоны с помощью водяных струй, которые образуются в каналах промывки внутри электрода. Каналы промывки соединены с источником воды под давлением. Когда расстояние между электродом и объектом увеличивается, дуга разрывается. При продолжении движения электрода между ним и объектом об-

разуется следующая дуга. В результате процесс сверления или резки объекта возобновляется.



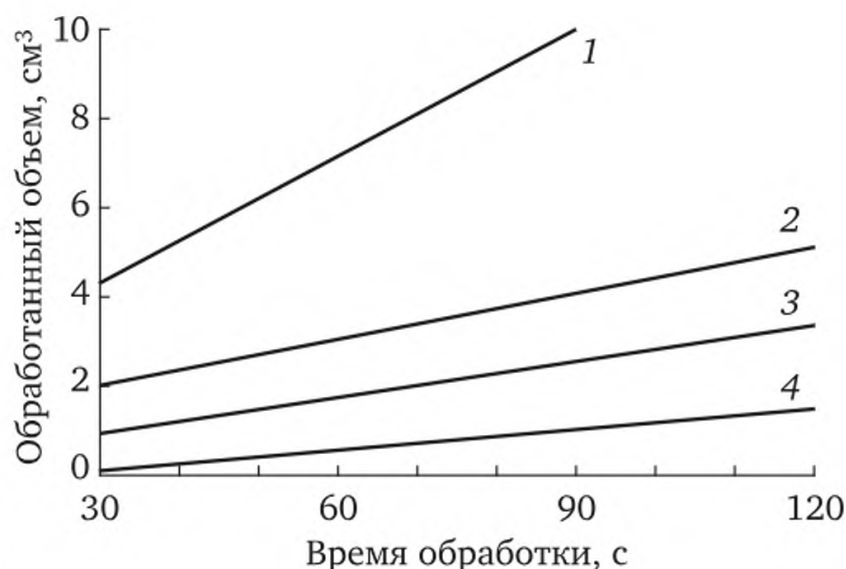
**Рис. 3.24. Схема технологического оборудования:**

- 1 — силовая рама, 2 — технологический привод, 3 — держатель электрода с каналом промывки, 4 — объект, 5 — блок питания, 6 — источник воды под давлением, 7 — источник напряжения, 8 — защитный экран, 9 — захватное устройство педипулятора, 10 — изолятор, 11 — электрод

Во время вертикального прорезания объекта внешние и внутренние педипуляторы одновременно фиксируются на объекте и находятся в нижней позиции. Во время продольной резки зафиксированы только внутренние педипуляторы, а силовая рама с технологическим оборудованием совершает заданное движение по рабочей траектории вдоль объекта. Рабочая рама находится в нижней позиции для того, чтобы уменьшить момент от технологического усилия и защитить систему приводов и систему управления во время технологического процесса от термических воздействий посредством защитного экрана, который отделяет технологическое оборудование от транспортного модуля в его нижней позиции.

На рис. 3.25 представлены характеристики вырезанных объемов в функции времени для различных материалов электрода.

Наилучшую характеристику имеет графитовый электрод. С помощью этого электрода вырезается до 10 куб. см объема в стальном объекте за 1,5 мин.

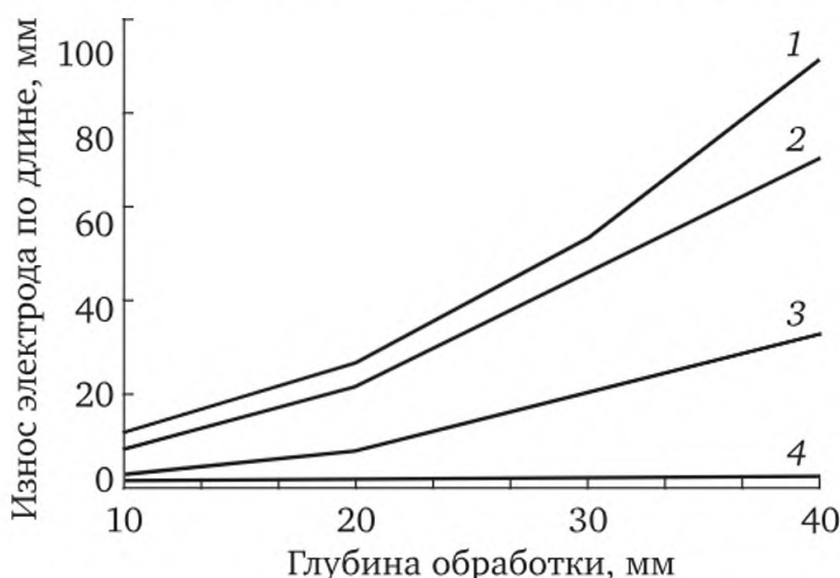


**Рис. 3.25. Вырезанные объемы в функции времени для различных материалов электрода:**

1 — графит, 2 — конструкционная сталь, 3 — медь, 4 — вольфрам

Другой важной характеристикой технологического инструмента является износ электрода. Для того чтобы иметь непрерывный процесс работы работа без смены электрода, необходимо предварительно рассчитывать величину его износа.

Характеристики износа электрода в функции глубины резки для различных материалов электрода даны на рис. 3.26.



**Рис. 3.26. Износ электрода в функции глубины резки для различных материалов электрода:**

1 — медь, 2 — конструкционная сталь, 3 — вольфрам, 4 — графит

Приведенные характеристики позволяют сравнить распределение эмиссии для контактной и плазменной резки (рис. 3.27).

При резке объекта толщиной 60 мм суммарная величина аэрозолей, гидрозолей и осадочных частиц отличается на 150 г/м длины разреза. Приблизительно 96 % частиц оседает на дно, а 3,5 % частиц удерживается в воде в виде гидрозолей. При необходимости гидрозолели могут быть откачены из рабочей зоны для сохранения прозрачности воды.

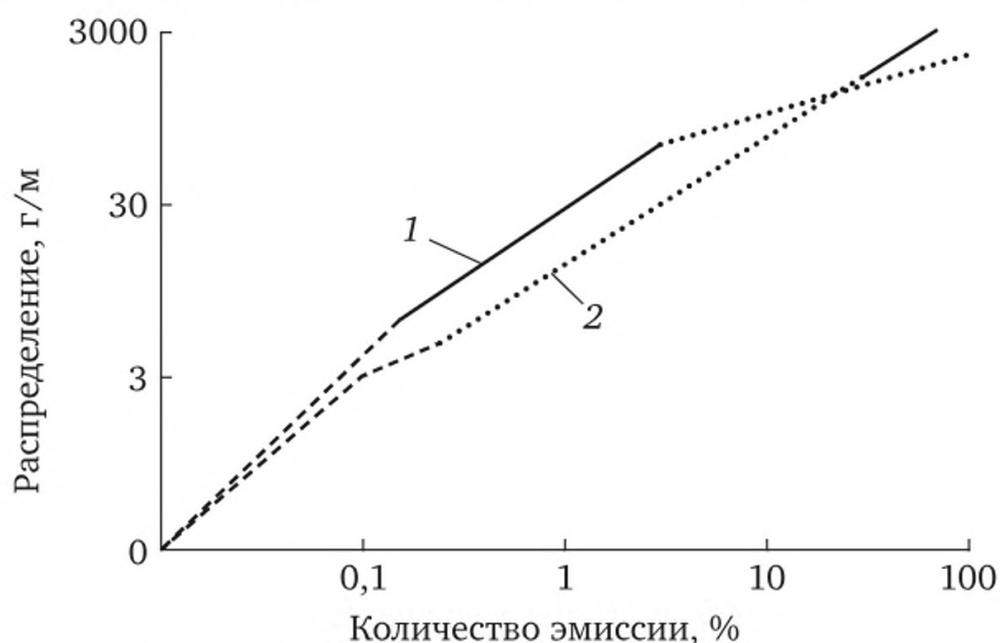


Рис. 3.27. Распределение эмиссий частиц во время подводной резки:  
1 — контактная дуговая резка, 2 — плазменная резка.  
---- аэрозоли; — гидрозолели; ..... осадочные частицы

### 3.5. Операции разминирования

Заминированные территории, остающиеся после окончания военных действий, представляют собой источники экстремальной опасности для мирных жителей. Работа по ручному разминированию является также опасной для жизни саперов, поэтому автоматизация операций разминирования, учитывая присутствие мин на территориях более чем 60 государств мира, является важной проблемой международного уровня.

В задачи мобильных автономных систем входят обнаружение всех типов мин сканированием территории их потенциального нахождения и обезвреживание. В работе мобильной системы, в общем случае, могут быть выделены следующие режимы: обнаружение мины, механическое разрушение мины во время обнаружения на месте, разрушение после обнаружения, удаление мин и их разрушение в безопасном месте.



С технической точки зрения мобильные системы для разминирования можно подразделить:

- по виду шасси — на колесные, гусеничные, шагающие, винтовые и гибридные;
- по среде применения — на наземные, подводные и воздушные.

Примером *колесной автономной системы* может служить радиоуправляемая система, предназначенная для нейтрализации мин на территориях, имеющих значительное количество растительности (рис. 3.28).



Рис. 3.28. Колесная робототехническая система

Производительность системы доходит до  $800 \text{ м}^2/\text{ч}$  в зависимости от типа грунта и плотности растительности. Шасси системы имеет треугольный профиль, вершина которого направлена к поверхности перемещения, а также стальную обшивку толщиной 8 мм. Такая конструкция шасси позволяет минимизировать повреждения от возможного взрыва мины. Ходовая часть выполнена на основе четырех зубчатых колес, каждое из которых приводится в движение автономным двигателем, что улучшает маневренность системы, и устраняет необходимость использования таких узлов, как коробка передач, дифференциал и тормоз. Зубчатые колеса сделаны из стали толщиной 20 мм и легко восстанавливаются или заменяются. Испытания показали, что такие колеса противостоят взрыву большинства средних по мощности мин.

Для обеспечения свободного доступа к заминированной поверхности по ходу робота установлен блок удаления растительности, эффективной шириной обработки 1,2 м, имеющий тридцать шесть цепей, каждая из которых имеют длину 330 мм.

Они подрезают растительность до высоты 25 мм и могут удалять кусты и небольшую поросль деревьев до 20 мм в диаметре. Цепи также активируют минные растяжки, которые встречаются по пути, инициируя тем самым, подрыв мин. Привод блока удаления растительности представляет собой гидравлический мотор, обеспечивающий вращение цепей со скоростью до 1300 об/мин.

Основными преимуществами этого робота являются возможность его использования на трудных, с точки зрения проходимости, минных полях, низкие эксплуатационные расходы, а также простота доставки к месту работы из-за сравнительно небольших габаритов и веса. Дистанционно управляясь, он несет на себе поисковое и извлекающее оборудование (рис. 3.29).

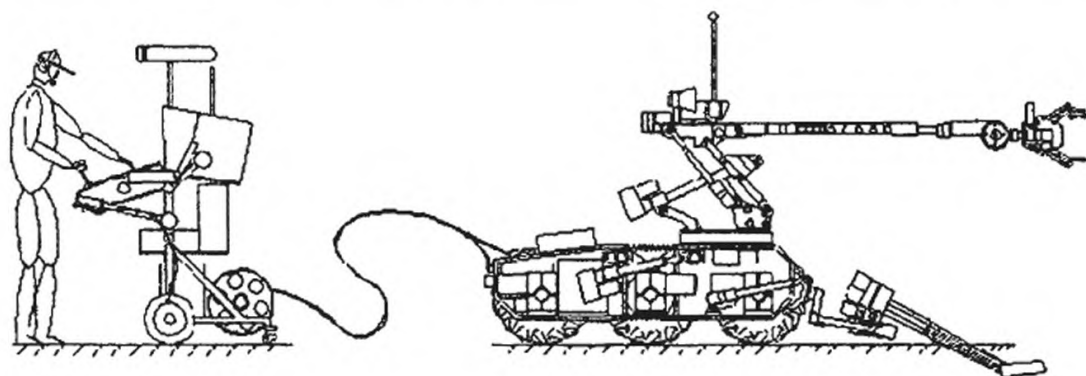


Рис. 3.29. Схема установки поискового и извлекающего минного оборудования

В качестве поискового минного оборудования может быть использован механический зонд, в котором для нахождения заложенной мины используется стальной щуп, совершающий под углом в  $30^\circ$  автоматические проникающие в грунт возвратно-поступательные движения.

Щуп, одновременно с возвратно-поступательными движениями, может вибрировать или вращаться для более легкого проникновения в грунт. Датчик зонда дает информацию об объектах, с которыми щуп сталкивается в грунте.

Извлекающее оборудование представляет собой бортовой манипулятор с датчиками положения и усилий в захватном устройстве.

Процедура поиска заключается в первоначальном сканировании грунта в рабочей зоне с шагом 5 см. При обнаружении препятствия шаг сокращается до 2,5 см или меньше в зависимости от характеристик грунта, а система распознавания продолжает непрерывно анализировать собранные данные,

определяя размер и форму скрытого объекта. Если объект распознается как мина, то выполняется процедура его извлечения.

Вращающаяся дистанционно управляемая колесная система (рис. 3.30) имеет три стальных колеса, расположенные под углами  $120^\circ$  друг к другу на общем каркасе, массой приблизительно по 80 кг каждое и толщиной 4—6 см. Они приводятся в действие независимыми компактными гидравлическими двигателями.



Рис. 3.30. Вращающаяся колесная система

Благодаря такому расположению колес система может совершать вращательные движения. Различные скорости моторов колес позволяют организовывать их спиральное в проекции на разминированную поверхность движение при поступательном перемещении каркаса.

В результате колеса непрерывно покрывают зону шириной 5 м в направлении движения каркаса с промежутками в 3 см, имитируя ширину ступни человека и его давление на поверхность, тем самым зондируя почву на предмет наличия мин.

В случае активации мины колесом система может быть повреждена, но благодаря простой конструкции легко восстановлена.

Для быстрой идентификации присутствия мин применяются также пассивные активаторы, например, дисковый зонд, закрепляемый на жесткой сцепке впереди транспортной системы (рис. 3.31).

Дисковый зонд, перемещаясь по заминированной поверхности, активирует мины посредством создания давления око-

ло 1000 кг/м<sup>2</sup> собственной массой, достаточного для срабатывания взрывателя. Конструктивно зонд выполнен из ряда стальных дисков, которые установлены с возможностью независимого перемещения относительно друг друга, массой по 50 кг каждый. Это позволяет зонду выдерживать многократные взрывы мин и эффективно функционировать на неровных поверхностях, действуя на них своим полным профилем. Использование этого метода существенно ускоряет процесс разминирования.



Рис. 3.31. Дисковый зонд

Гусеничные робототехнические системы выполняются на гусеничной ходовой части.

Дистанционно управляемый гусеничный транспортный модуль (рис. 3.32) снабжен по ходу движения вращающимся барабаном с зубьями из прочного карбидного материала.

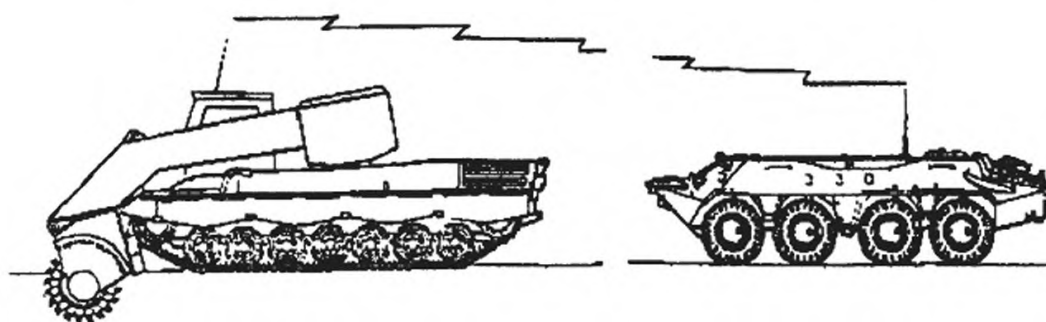


Рис. 3.32. Схема гусеничной робототехнической системы

Они инициируют подрыв мины или перемалывают ее на безопасные части. Модуль эффективно обрабатывает грунт на глубину более 20 см. Для каменистых грунтов в барабане используются зубья из твердых сплавов, способных дробить скальные породы.



Другим примером использования гусеничного хода для перемещения робототехнических систем разминирования служит специальный плуг на бронированном гусеничном транспортном модуле (рис. 3.33).

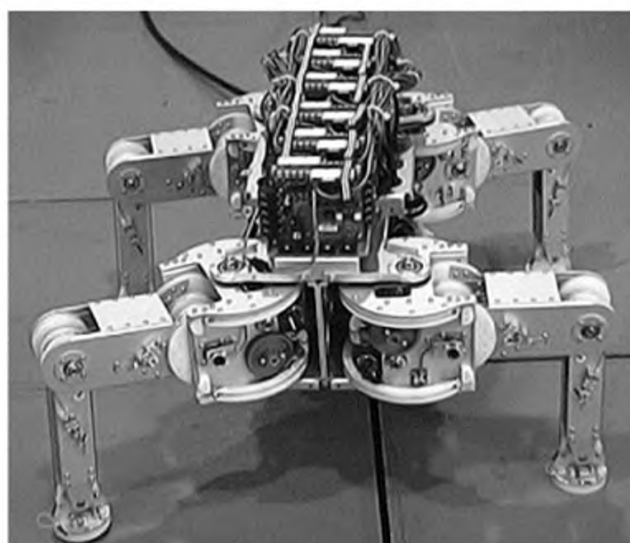


*Рис. 3.33. Бронированный гусеничный транспортный модуль*

Применение плуга позволяет увеличить скорость зондирования поверхности.

Однако из-за того, что зубья плуга располагаются на значительном расстоянии друг от друга, некоторые мины могут остаться необезвреженными по обе стороны движения в отвалах грунта. Таким образом, данная система может обеспечить только безопасный коридор за собой.

*Шагающие системы* используют для своего перемещения педипуляторы, что обеспечивает им наилучшую проходимость в условиях пересеченной местности (рис. 3.34).



*Рис. 3.34. Робот со сменными педипуляторами*

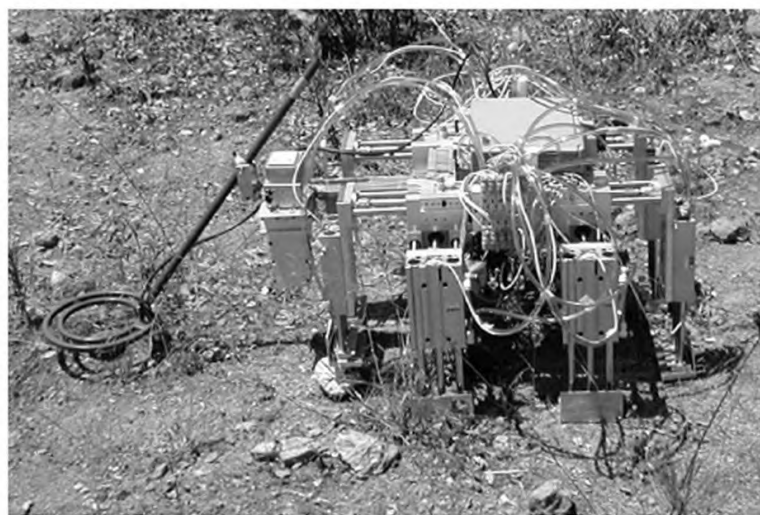
Сменные педипуляторы позволяют использовать на них различные рабочие инструменты (рис. 3.35).



*Рис. 3.35. Пример сменного рабочего инструмента в виде захватного устройства*

Первой операцией при разминировании может быть удаление травы из рабочей зоны поиска путем использования вращающегося резака. Для удаления мины в качестве рабочего инструмента применяется захватное устройство в форме лопатки. При необходимости подрыва мины применяется рабочий инструмент в виде детонатора на длинном рычаге. Основными недостатками такой конструкции являются высокая стоимость и низкая производительность.

Этих недостатков лишен мультисенсорный пневматический робот (рис. 3.36).



*Рис. 3.36. Мультисенсорный пневматический робот*

Транспортная система робота базируется на пневматических приводных элементах и имеет робастную конструкцию повышенной проходимости. Это позволяет перемещать на его борту оборудование для разминирования массой до 100 кг по неровным и пересеченным местностям с углом наклона до 50°. Робот

управляется посредством бортового процессора и оператора, находящегося в зоне безопасности, в интерактивном режиме. Педипуляторы робота обладают возможностью адаптации по высоте к препятствиям, что обеспечивает постоянство рабочего положения датчиков мин относительно поверхности перемещения.

Система имеет два режима управления. Первый режим — транспортный. В этом случае пневмоцилиндры перемещаются с максимальной скоростью, используя всю длину рабочего хода и обеспечивая максимальную скорость движения, блок сканирования выключен. Робот может изменять направление движения на требуемый угол, в том числе вращаться, в частности, посредством одновременного движения продольных цилиндров в противоположных направлениях при контакте их педипуляторов с поверхностью движения. Вторым режимом является режим обнаружения мин. В этом режиме блок обнаружения сканирует зону перед роботом. Траектория сканирования реализуется с оптимальной скоростью, соответствующей параметрам блока обнаружения. Благодаря такому сочетанию достигается повышенная производительность работы системы.

*Винтовые системы* построены на основе использования двух архимедовых винтов, которые перемещают корпус по поверхности. При этом одновременно задействуются левый и правый винты (рис. 3.37).



Рис. 3.37. Винтовая система

Вращение винтов в различных направлениях позволяет системе двигаться во все стороны и изменять направление движе-

ние с нулевым радиусом поворота. Винты выполнены на базе полых цилиндров, которые придают системе плавучесть, позволяя тем самым, исследовать болотистые и затопленные территории. Система оборудована блоком датчиков мин, бортовым контроллером и беспроводными линиями связи с оператором.

Робот имеет на борту источники питания, электронную систему управления, микроволновый радар обнаружения мин и аппаратуру беспроводного канала связи, что дает возможность оператору, управляющему роботом дистанционно, наблюдать результаты сканирования поверхности в видеоизображении.

Подводные системы для разминирования строятся на базе автономных модулей, представленных в п. 3.4. Дополнительно может использоваться подводный мобильный робот с волнообразным механизмом передвижения относится к роботам, способным свободно плавать под водой (рис. 3.38).



Рис. 3.38. Робот с волнообразным механизмом передвижения

Этот робот или их группа может быть доставлена в зону поиска торпедой без боезаряда или судном, с которого производится оперативное управление поиском с использованием акустического глубиномера и компаса. Пространственно сканируя водный путь перед судном, робот обнаруживает мины, которые затем обезвреживаются.

Дистанционно управляемые автономные воздушные системы позволяют обнаруживать мины с воздуха и исследовать большие области за короткое время. Такая высотная система (рис. 3.39) состоит из воздушной платформы, оснащенной блоком управления полетом, твердотельной камерой и инфракрасным датчиком.

Воздушная платформа позволяет иметь на борту до 30 кг полезного груза и перемещаться со скоростью до 70 км/ч в автономном полете продолжительностью до 2 ч. За это время может быть обследована площадь радиусом до 10 км.

Система вертикального взлета используется как для взлета и посадки, так и для более точного поиска мин в требуемых ме-



стах. Система автоматического возвращения в исходную точку позволяет воздушной платформе найти стартовую позицию даже в случае потери связи с наземной станцией.



Рис. 3.39. Высотная автономная воздушная система

Для обнаружения мин и картографии минного поля применяется бортовое оборудование в составе инерциальной навигационной системы с дифференциальной глобальной системой навигации. Программирование заранее намеченных маршрутов позволяет использовать систему в автоматическом режиме управления или ручном — с наземной станции. Наземная станция устанавливается на транспортном средстве, доставляющем ее в рабочую зону. Она имеет компьютерную систему, которая позволяет оператору проводить управление полетом и рассматривать цветные изображения с борта воздушной платформы в реальном масштабе времени.

Примером воздушной системы для обнаружения мин с минимальной высоты служит низковысотная воздушная система (рис. 3.40). Ее номинальная высота полета составляет около 1,5 м над землей, что позволяет использовать на борту достаточно точные датчики обнаружения мин.

Эта система имеет неметаллический корпус диаметром 2 м. Конструкция, собственной массой около 100 кг, может нести на борту полезный груз массой до 15 кг. Скорость перемещения системы может меняться от нуля в режиме парения до 60 км/ч в режиме полета.

Гибридные системы предназначены для использования синергетического эффекта от комбинации различных систем передвижения (рис. 3.41).



*Рис. 3.40. Низковысотная автономная воздушная система*



*Рис. 3.41. Гибридная система*

Эта конструкция разработана для поиска мин на неровных ландшафтах. Робот имеет два пневматических педипулятора спереди, обладающих тремя степенями свободы каждый, и два колеса сзади, несущих на себе основной вес робота, а педипуляторы улучшают контакт с поверхностью и служат для преодоления препятствий. Колеса приводятся в действие независимыми электродвигателями.

Робот имеет шесть микроконтроллеров с нечеткой логикой для управления поршнями пневмоцилиндров педипуляторов, автономную систему управления колесами и центральный компьютер для общего интерактивного управления всеми системами робота. Габаритные размеры робота составляют 660 × 1110 × 400 мм.

Точное обнаружение положения мины является решающим фактором для успешного функционирования автоматического мобильного робота при выполнении задачи разминирования.

Датчики обнаружения можно подразделить согласно их функциональному принципу на механические, электромагнитные, ультразвуковые, тепловые, оптические, электрохимические и комбинированные.

Механические и электромагнитные датчики являются в настоящее время наиболее распространенными при проведении операций разминирования.

Традиционный метод обнаружения мин заключается в механическом зондировании почвы. Соответствующий датчик состоит из одного или более независимо приводимых в действие линейных модулей, оборудованных зондами 30 см длиной (рис. 3.42).

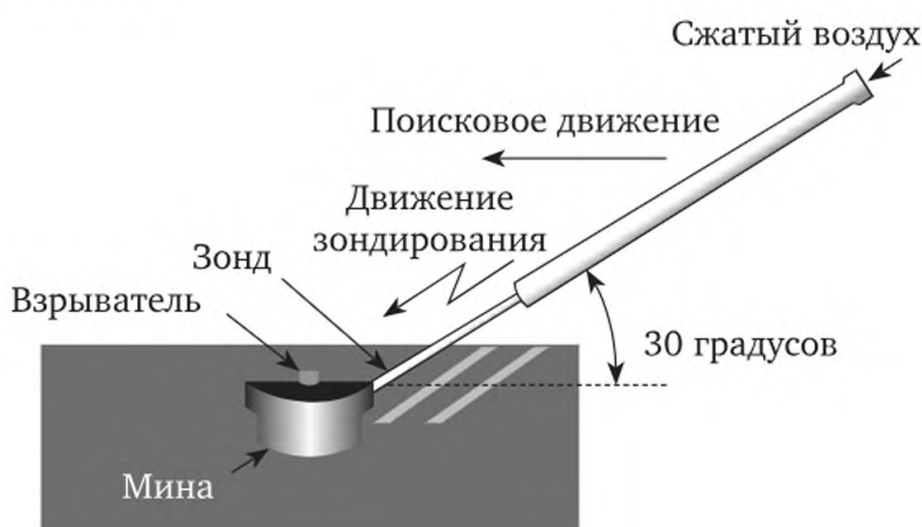


Рис. 3.42. Схема механического зондирования мины

Зонд должен проникать в землю под углом приблизительно в 30 градусов. Обратная связь по силе наряду с измерением положения зонда позволяет определить глубину нахождения объекта. Для обнаружения мины необходимо исследовать почву, по крайней мере, через каждые пять сантиметров, а чтобы определить ее контур, необходимо использовать более частый шаг вокруг точки, где обнаружено препятствие при зондировании. Датчик измеряет расстояние от исходной позиции до объекта на каждом шаге. Эти данные преобразуются в изображение объекта и анализируются по заданному алгоритму.

Приводная система датчика представлена на рис. 3.43.

Положение и скорость зонда измеряются кодирующим устройством. Датчик усилия соединен с основанием зонда. Когда зонд находится выше поверхности земли, сила равна нулю. Касание поверхности земли зондом увеличивает усилие, и да-

лее оно нарастает по мере проникновения в землю. Касание объекта приводит к резкому увеличению силы, что приводит к превышению заданного порога срабатывания датчика. Порог срабатывания задается, исходя из безопасного диапазона усилий, не приводящего к возможному детонированию мины от контакта с датчиком. Для противопехотных мин усилие детонации обычно находится между 30 Н и 150 Н.

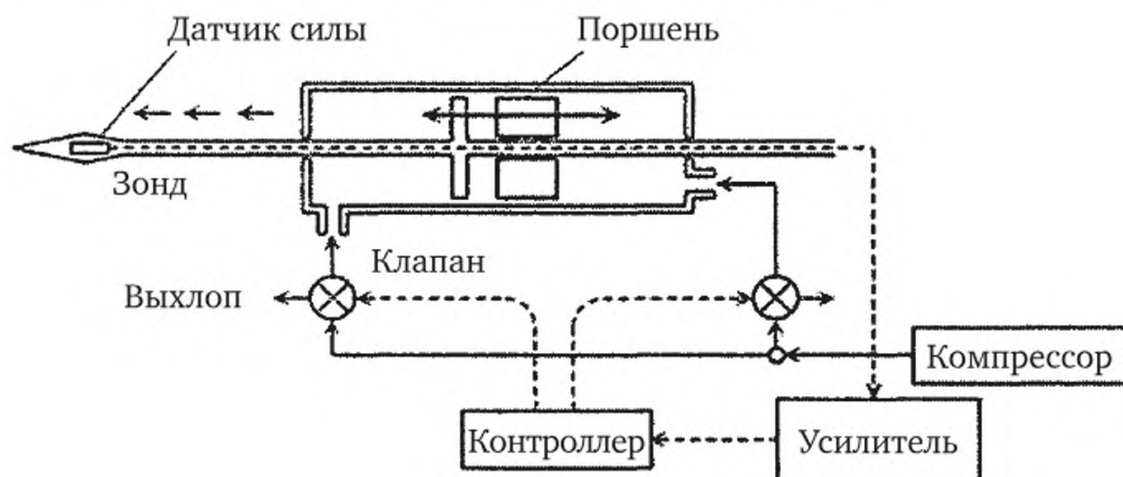


Рис. 3.43. Приводная система датчика зондирования

Сигналы с датчика позволяют получить изображение мины. На рис. 3.44 показано изображение противопехотной мины типа РМА-3, смоделированной по данному методу. Форма мины цилиндрическая с диаметром 103 мм и высотой 36 мм. Из модели видно, что глубина залегания мины составляет 5 см. Собранные данные преобразуются к 256-уровнему образу серой шкалы.

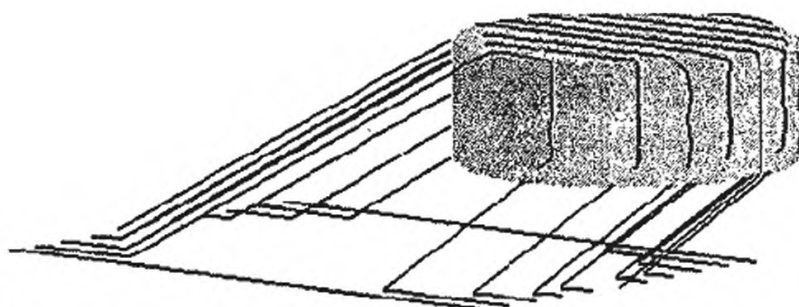


Рис. 3.44. Смоделированное изображение мины типа РМА-3

К электромагнитным датчикам относятся радары для обнаружения мин. Их работа основана на генерировании короткого электромагнитного импульса в направлении поиска через широкополосную антенну.



Отраженные сигналы формируют информационный вектор подземных объектов. Смещение антенны позволяет строить изображение по последовательным векторам.

Любая диэлектрическая неоднородность в почве, в том числе присутствие мины, вызывает отражение. Его интенсивность будет повышаться с увеличением диэлектрического коэффициента объекта. Мощность, воспринимаемая антенной, равна

$$P = ekTB,$$

где  $e$  — отражающая способность объекта,  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — абсолютная температура объекта,  $B$  — полоса пропускания в Гц.

Эта формула точна в пределах 1 % для частот ниже 100 ГГц.

Система работает с номинальной частотой в 1 ГГц. Это позволяет обнаруживать мины на глубинах до 1 м при разрешении порядка нескольких сантиметров. Глубина обнаружения зависит от состава почвы. Например, песок ослабляет сигнал приблизительно на 1 децибел на метр глубины при частоте 1 ГГц, а глина — на 100 децибел на метр на той же частоте. Отраженная информация преобразуется в цифровую форму. Перемещая антенну по линии, можно построить изображение, представляющее вертикальный срез почвы.

На рис. 3.45 представлен радар, состоящий из подвижной и неподвижной частей. Подвижная часть, которая и является самым датчиком, состоит из антенны, излучателя, интерфейса, радиомодема и батареи. Неподвижная часть содержит компьютер, цифровой процессор сигнала, дисплей, радиомодем и аккумулятор. Обе части связаны между собой беспроводной связью.



Рис. 3.45. Радар для обнаружения мин

Чтобы получить изображение, система должна иметь точное текущее положение антенны. Это достигается с помощью индуктивного позиционирующего устройства, которое помещается перед сигнальной зоной датчика.

К другому виду электромагнитных датчиков относятся *металлодетекторы*. Работа металлодетектора основана на определении влияния металлических объектов на переменное электромагнитное поле. Поисковый элемент металлодетектора генерирует такое поле. При перемещении поискового элемента вдоль поверхности грунта приемная катушка в нем фиксирует изменения, вызванные металлическими объектами, и вырабатывает сигнал, указывающий на присутствие металла в грунте под поисковым элементом. Схема установки металлодетектора на шагающем роботе для автоматического поиска мин показана на рис. 3.46.

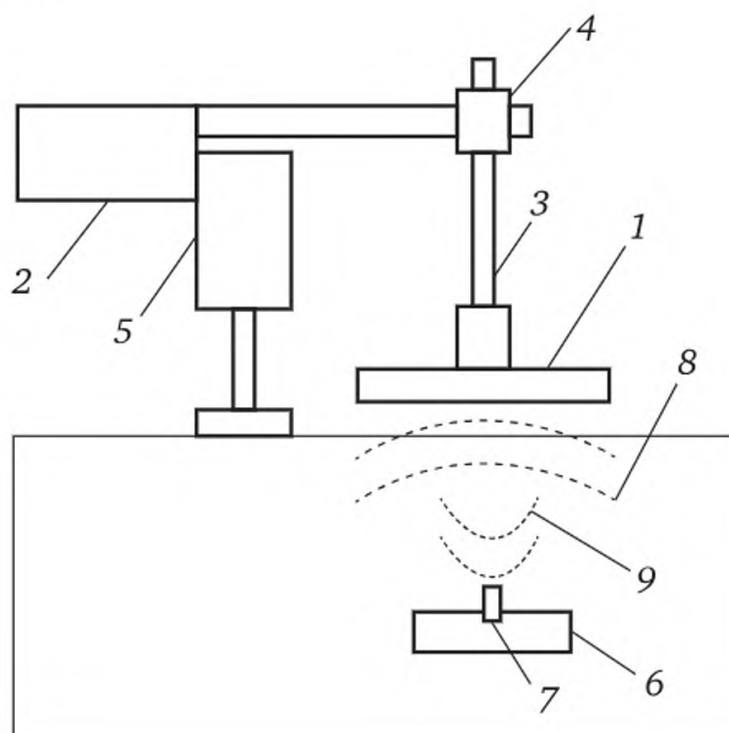


Рис. 3.46. Схема установки металлодетектора на роботе:

1 — металлодетектор, 2 — платформа робота, 3 — кронштейн, 4 — узел настройки высоты, 5 — педипулятор, 6 — мина, 7 — металлическая часть мины, 8 — опорный сигнал, 9 — отраженный сигнал

Результаты испытаний для трех уровней нахождения мин — на поверхности, на глубине 5 см и на глубине 10 см в песчаном грунте — приведены на рис. 3.47.

Максимальный выходной сигнал достигается при нахождении мины на поверхности и уменьшается с увеличением глубины.

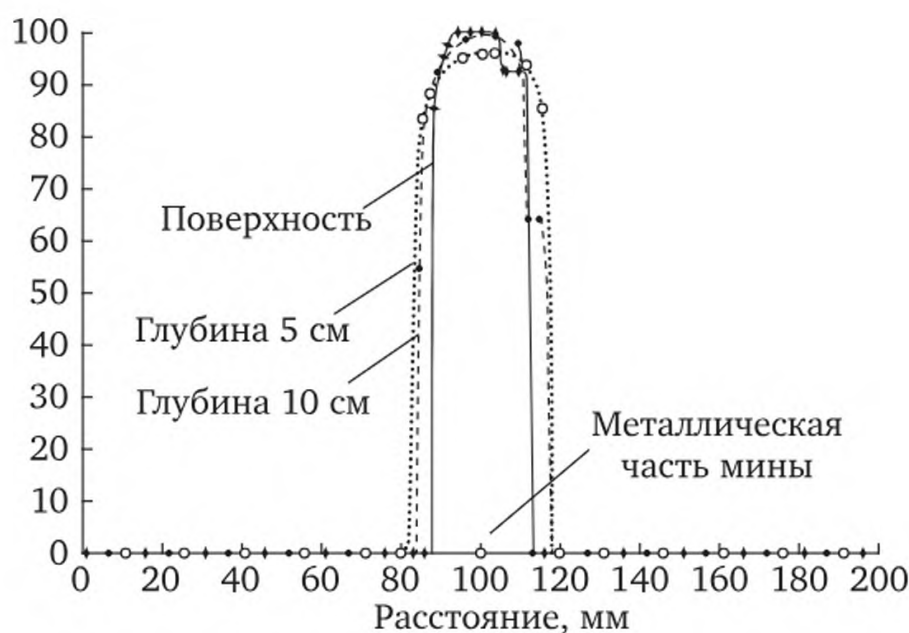


Рис. 3.47. Выходные сигналы с металлодетектора

Сигнал обнаружения появляется примерно за 20 мм до достижения проекции центра металлической части мины, при этом максимальный сигнал вырабатывается непосредственно над центром металлической части, а дальность обнаружения практически не зависит от глубины закладки мины.

Акустическая система обнаружения мин показана на рис. 3.48.

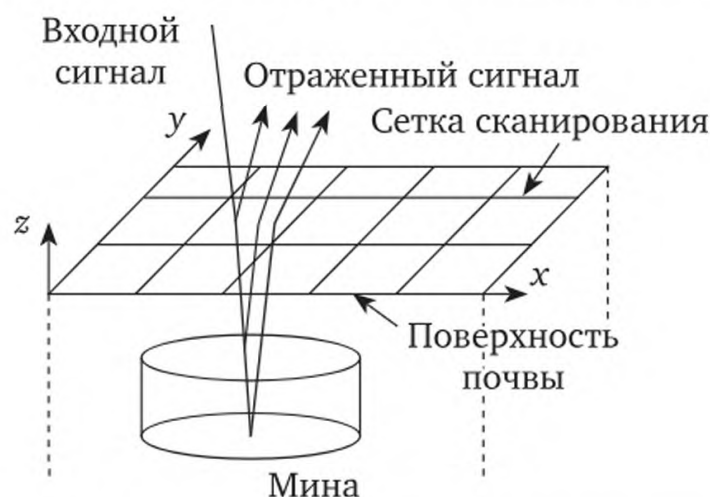


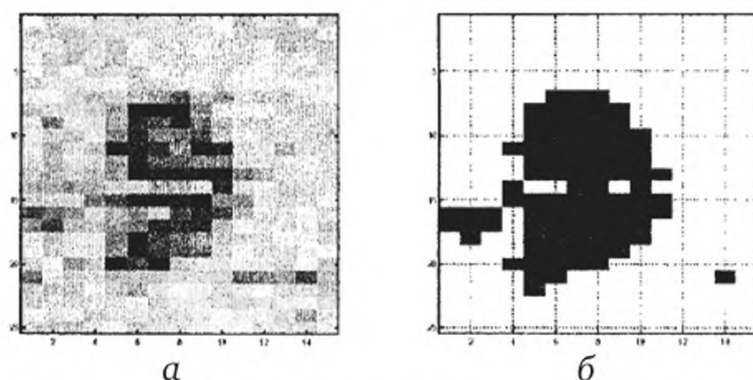
Рис. 3.48. Акустическая система обнаружения мин

Передатчик посылает лазерный импульс в направлении залегания мины. В результате в почве образуется акустическая волна. Одна часть этой волны отражается поверхностью почвы, а другая часть — находящимися в ней объектами, что фиксируется приемником акустических сигналов. Таким образом, по-

лученный сигнал представляет собой смесь отраженных волн от земли и мины. Эта процедура измерения повторяется по алгоритму получения двумерной сетки данных, анализ которой позволяет локализовать и охарактеризовать заложенную мину.

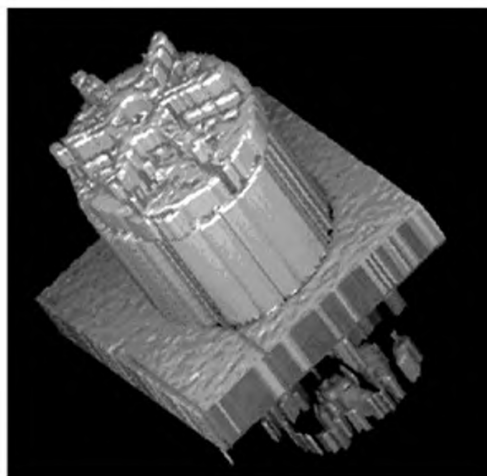
Поскольку распространение и рассеивание акустических волн через землю является сложным физическим процессом, то для обработки результатов используются специальные нелинейные математические фильтры.

На рис. 3.49 (а) показан полученный образ мины до обработки изображения, а на рис. 3.49 (б) — после использования фильтра Винера. Обычный режим использования ультразвука состоит в генерировании в среде волны с частотой более 20 кГц. Эта волна отражается на границах между материалами с различными акустическими свойствами.



*Рис. 3.49. Акустические изображения мины*

Такие системы особенно хорошо функционируют с влажными почвами или под водой. На рис. 3.50 приведено пространственное изображение подводной мины, полученное при трехмерном сканировании объекта.



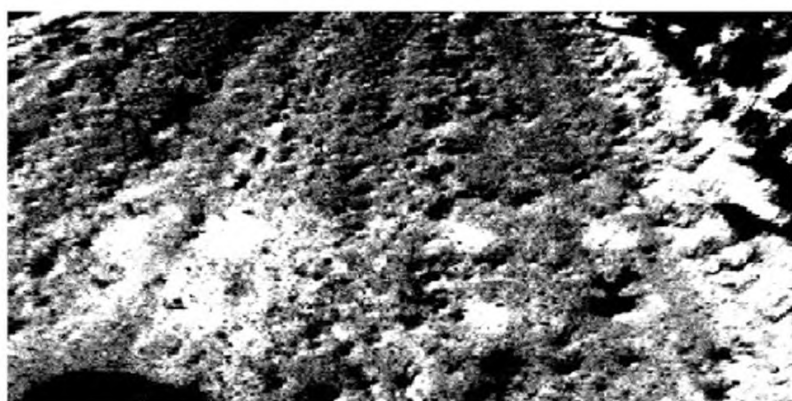
*Рис. 3.50. Трехмерный образ мины при ультразвуковом подводном сканировании*



Использование *тепловых датчиков* для обнаружения мин основано на том, что мины сохраняют и излучают тепловую энергию иначе, чем окружающая среда.

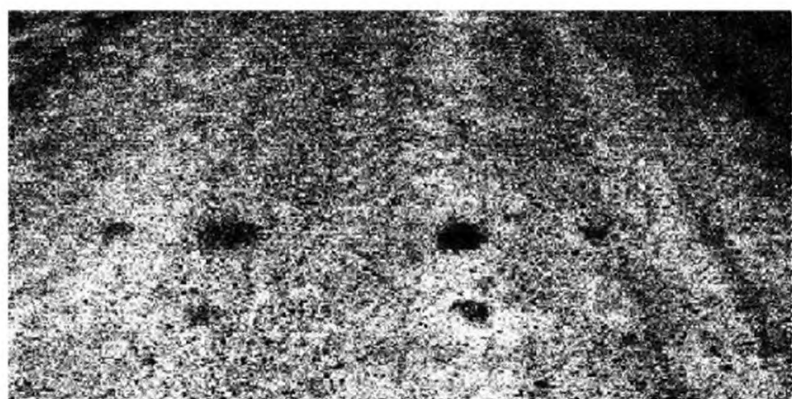
В результате естественного изменения температуры в течение суток появляется возможность измерить тепловой контраст между почвой и залегающей в ней миной, используя инфракрасные камеры. Максимальная глубина нахождения мины при этом составляет 15 см.

Инфракрасное изображение минного поля, полученное камерой, помещенной на высоте 3 м от поверхности земли под углом 40 градусов в дневное время, приведено на рис. 3.51.



*Рис. 3.51. Дневное инфракрасное изображение минного поля*

Места расположения мин представляют собой светлые пятна. Ночное изображение того же места показано на рис. 3.52.



*Рис. 3.52. Ночное инфракрасное изображение минного поля*

В этом случае места расположения мин представляют собой светлые пятна. Такой режим измерения является пассивным. Его результаты существенно зависят от состояния окружающей среды и периода измерения. Вечером и утром тепловой контраст незначителен и мины практически невозможно обнару-

жить. Листва на почве также создает дополнительные проблемы. Эти трудности обуславливают использование активного инфракрасного измерения, при котором зона измерения предварительно прогревается микроволновым излучением. Результаты активного инфракрасного обнаружения мины представлены на рис. 3.53.

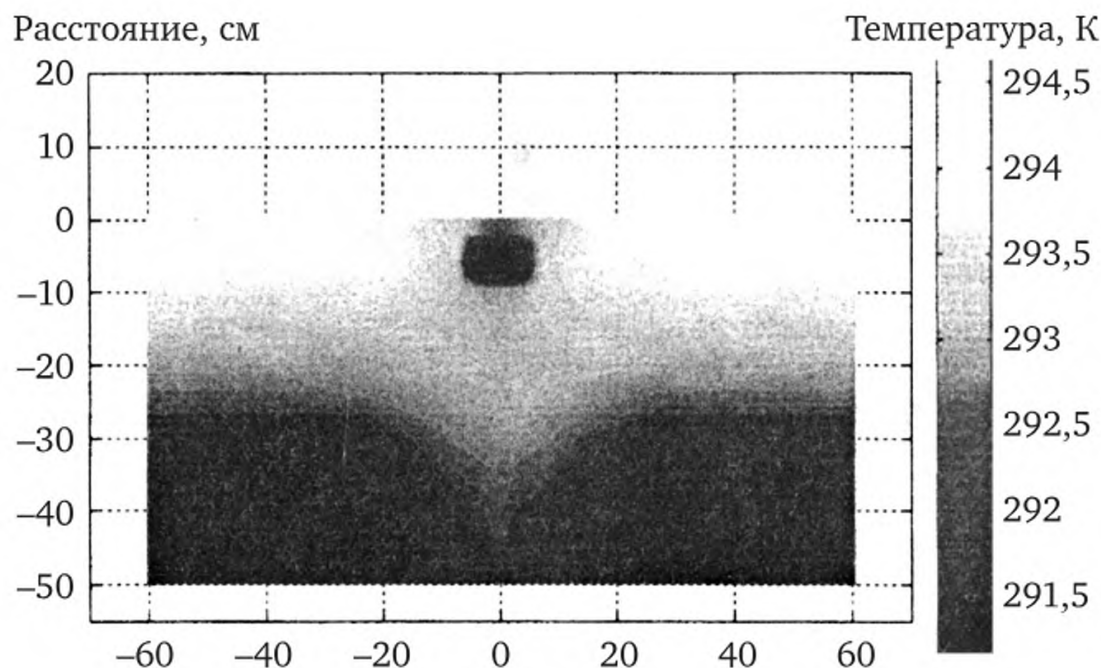


Рис. 3.53. Активное инфракрасное обнаружение мины

Из рисунка, показывающего температурное сечение почвы с заложенной в ней миной, видно, что после нагрева исследуемого участка место расположения мины по центру исследуемой зоны четко выделяется на общем фоне.

Оптические датчики используются для обнаружения мин на поверхности. Такой датчик обычно представляет собой видеокамеру и подсвечивающее устройство для обеспечения возможности использовать датчик в темное время суток.

Гиперспектральные датчики собирают данные в пределах от видимого до инфракрасного спектра (0,4—2,4 мкм). Для бортовых датчиков, используемых на воздушных системах, пространственное разрешение меняется от метров до десятков метров и, прежде всего, является функцией высоты полета. Практические результаты были получены до высот в 300 м. Использование специальных алгоритмов обработки изображений позволяет уменьшить вероятность ложных срабатываний от разнообразия фона и освещения. Датчик способен обнаружить также мины, частично закрытые растительностью.

На рис. 3.54 слева показано изображение региона, содержащего мины на поверхности, полученное с высоты 300 м. Справа приведено изображение того же самого региона после обработки данных.



*Рис. 3.54. Гиперспектральная техника обнаружения мин*

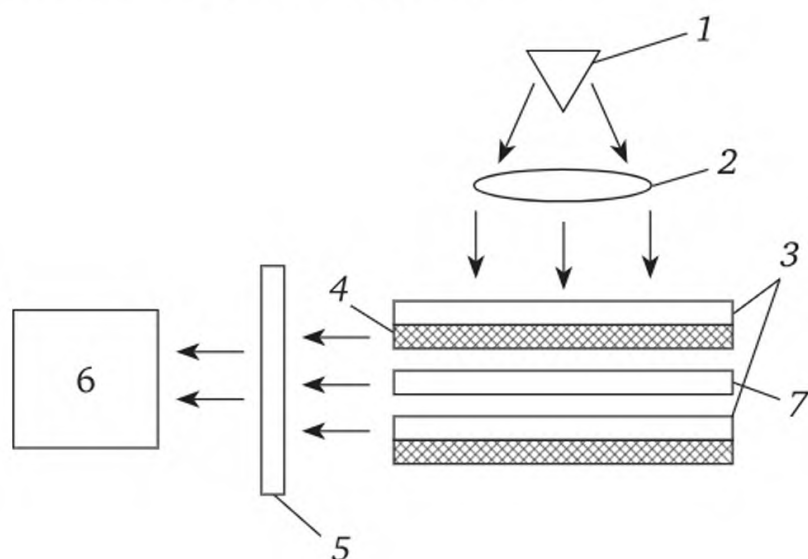
Каждая мина идентифицируется в виде белого пятна. Вероятность обнаружения мины для этого изображения равнялась 100 %.

Зарытые мины не могут быть обнаружены этим способом непосредственно, но косвенно позволяют наблюдать различия в отраженных спектрах из-за нарушения однородности растительности и поверхности почвы.

Химические датчики позволяют обнаруживать любые типы мин, включая безоболочковые взрывные устройства, поскольку они реагирует непосредственно на наличие молекул взрывчатого вещества. Эти молекулы могут быть определены путем измерения интенсивности опорного излучения при взаимодействии с анализируемой средой. Схема датчика, основанного на данном методе, показана на рис. 3.55.

Источником опорного излучения служит диод, излучающий свет определенного спектра. Свет проходит через линзу, которая фокусирует луч и направляет его на систему боросиликатных стекол, покрытых тонкой пленкой полимера. Стекла играют роль плоского волновода, который проходит через зону

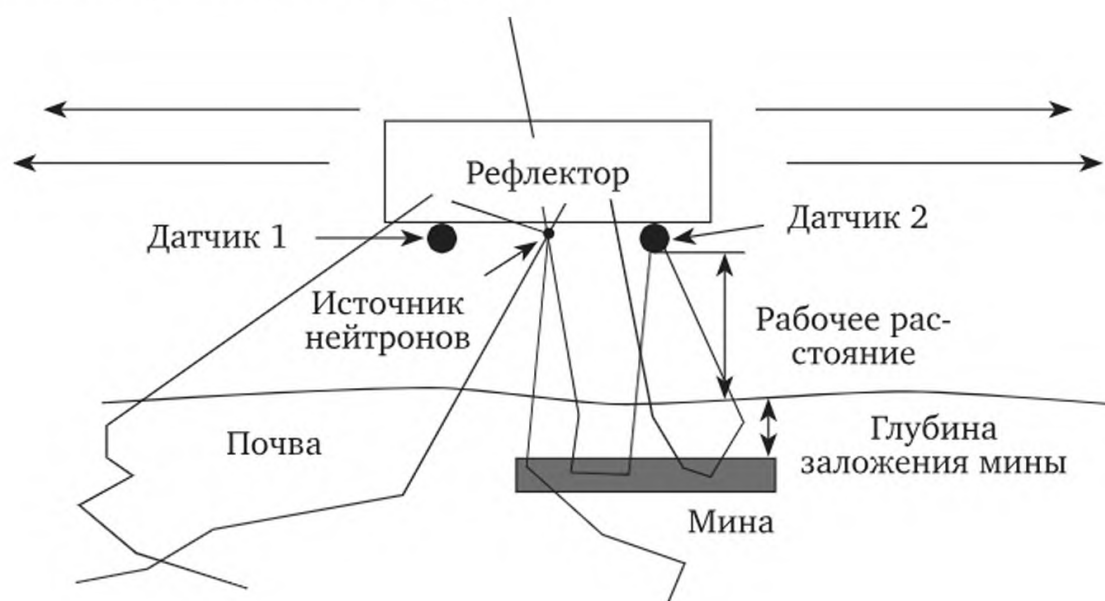
анализа среды. Свет взаимодействует со средой, в результате чего генерируется излучение, несущее информацию о химическом составе среды. Это излучение, проходя через фильтр, попадает на регистрирующее устройство.



**Рис. 3.55. Схема химического датчика:**

1 — источник опорного излучения, 2 — линза, 3 — стекла, 4 — полимер, 5 — фильтр, 6 — регистрирующее устройство, 7 — зона с анализируемой средой

Нейтронный метод позволяет получить информацию относительно количества атомов водорода, которое связано с наличием мины в почве. Принцип работы датчиков, основанных на этом методе, поясняется на рис. 3.56. Тонкими линиями показаны траектории нейтронов.



**Рис. 3.56. Нейтронная система обнаружения мин**



Нейтронный источник помещается над почвой вместе с тепловым нейтронным датчиком. Количество отраженных от почвы нейтронов главным образом зависит от содержания водорода в почве. Почти во всех случаях концентрация водорода в mine выше, чем в окружающей ее почве. Поэтому, если датчик проходит над миной, им обнаруживается увеличение нейтронного потока. Изменение расстояния между датчиком и почвой значительно влияет на количество детектируемых нейтронов. В связи с этим целесообразно использовать два идентичных датчика, установленных на некотором расстоянии друг от друга, с источником, помещенным точно в середине между ними. Таким образом, создается базовая линия по интенсивности нейтронного потока.

Пример сигналов при обнаружении мины диаметром 20 см, заложенной на глубине 3 см, при расстоянии измерительной системы до почвы 5 см, расстоянии между двумя датчиками 16 см приведен на рис. 3.57.

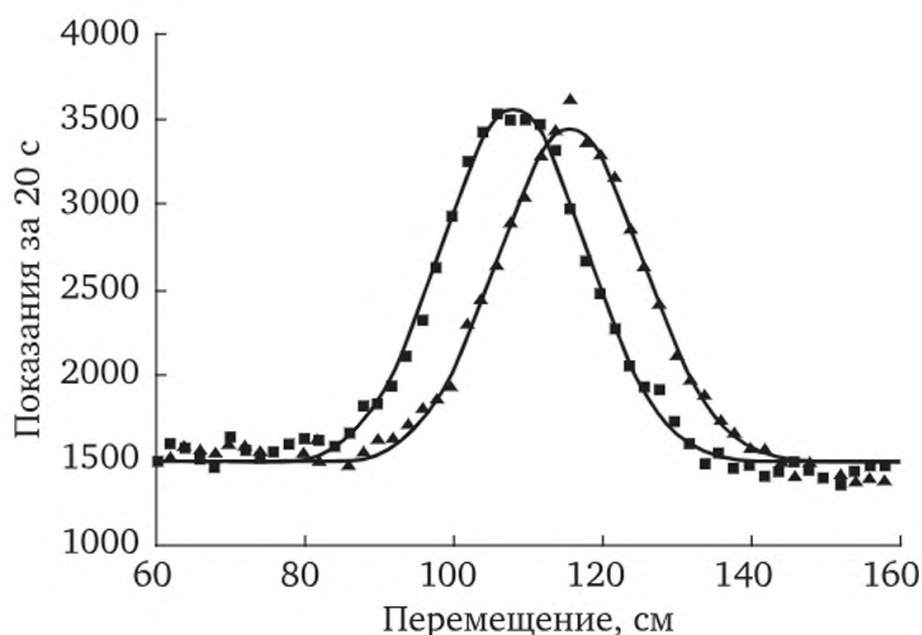


Рис. 3.57. Нейтронный метод обнаружения мин:

■ — датчик 1; ▲ — датчик 2

Сканирование проводилось на дистанции 1 м с размером шага 2 см и измерением в течение 20 с на каждом шаге. Положение мины соответствует максимальным показаниям датчиков.

Сейсмические методы также могут быть использованы для обнаружения всех типов мин под землей, даже содержащих небольшое количество металлических частей. Причина этого

состоит в том, что мины имеют механические свойства, которые значительно отличаются от таковых для почвы или металлических осколков. Скорость волны во взрывчатом веществе и пластмассах, используемых в минах, приблизительно в 20 раз выше, чем в почве. Кроме того, мины представляют собой довольно сложные механические конструкции с воздушными полостями. Это приводит к структурному резонансу, нелинейным взаимодействиям и другим явлениям, по которым можно отличить мину от, например, металлических осколков.

Бесконтактный характер работы этих датчиков позволяет исследовать поверхность почвы рядом или над миной. Это существенно увеличивает эффект обнаружения мин с помощью упругих волн. На рис. 3.58 показана конфигурация сейсмической системы обнаружения.

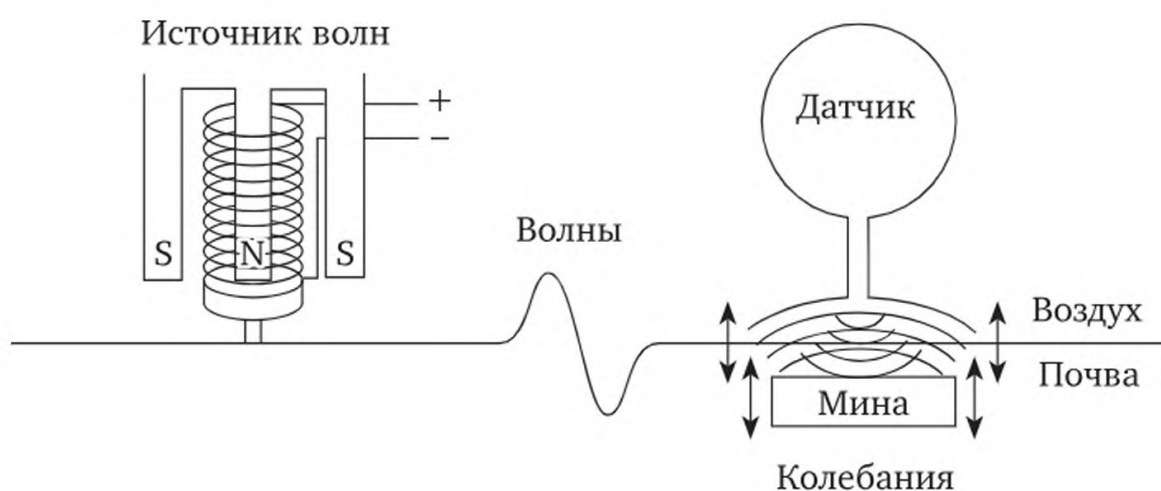


Рис. 3.58. Сейсмическая система обнаружения мин

Система состоит из бесконтактного датчика и источника сейсмических колебаний частотой до 1000 Гц, который генерирует упругую поверхностную волну в почве. Она воздействует на поверхностный слой земли и заложенную в нем мину, при этом колебания мины отличаются от колебаний почвы, так как их свойства отличаются по упругости. Датчик улавливает эти отличия и детектирует положение мины.

На рис. 3.59 показано изображение мины TS-50 AP, полученное сейсмической измерительной системой.

Мина была заложена на глубине 3 см, при этом на почве имела сухая растительность. На изображении ясно видно местоположение мины в виде светлого контура. Фильтрация сигналов позволила получить образ мины без фона от мелких объектов и растительности.



Рис. 3.59. Результаты сейсмического измерения

Таким образом, датчики обнаружения мин используют различные методы измерения, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, поэтому необходимым является исследование их оптимальных комбинаций на одной мобильной системе с последующим совместным анализом результатов измерений для повышения надежности обнаружения мин и повышения эффективности операций разминирования.

### Контрольные вопросы

1. Что входит в состав робототехнического комплекса для работ в атомном реакторе?
2. Как функционирует комплекс дезактивации?
3. Как автоматизируется операция вырезания отверстия над уровнем горящего топлива в стенке резервуара?
4. В чем заключается принцип двухступенчатой системы вакуумного захвата?
5. Из чего состоит конструкция робота для автоматизации монтажа дюбелей?
6. Как реализуется схема сканирующего транспортного модуля подводного робота?
7. Какие мобильные системы используются для автоматизации операций разминирования?
8. Какие датчики позволяют обнаружить взрывчатые вещества?
9. На чем основана работа металлодетектора?
10. Как проводится пассивное и активное обнаружение мин с помощью тепловых датчиков?

## Заключение

Тенденцией современного этапа автоматизации проектирования является создание комплексных систем, включающих конструирование изделий, технологическое проектирование и изготовление изделий. Спроектированный технологический процесс должен оперативно реагировать на изменение производственных ситуаций процесса изготовления изделий.

Повышение требований к конкурентоспособности продукции машиностроения требует новых производительных систем. Для этого создают виртуальные производственные системы, информация о структуре которых хранится только в памяти ЭВМ, на основе распределенных производственных систем.

Организация виртуальной производственной системы напрямую связана с технологическим содержанием реализуемых проектов. Процессы организации виртуальной производственной системы и технологического проектирования взаимосвязаны. Имеют место прямые и обратные связи информационных потоков. Создаваемая система управления функционирует, как правило, без участия человека.

Наиболее общими закономерностями развития автоматических систем в настоящее время являются миниатюризация, использование искусственного интеллекта и интеграция функциональных компонентов систем.

Перспективы развития мехатронных систем автоматизации состоят в поэтапности миниатюризации путем освоения микро- и наноразмерностей в виде отдельных поколений развития техники. Создание нанотехнологий предполагает использование микротехники, например, микроманипуляторов. Реализация этого принципа означает развитие 3D-микросистемных технологий на базе 2D-технологий микроэлектроники. Проблема микроминиатюризации стоит и перед конструкторами источников энергоснабжения.

Принцип унификации функциональных компонентов реализуется в виде модульного построения систем из конструктивно



унифицированных функциональных компонентов — сенсорных, информационно-управляющих, исполнительных блоков, блоков связи и энергопитания в виде типоразмерных рядов.

С уменьшением габаритных размеров до уровня сантиметровой размерности общесистемная оптимизация приводит к взаимному проникновению, конвергенции этих функциональных компонентов. Это дает снижение массогабаритных параметров, повышение надежности за счет уменьшения межкомпонентных связей и быстродействия.

Первым этапом этого процесса является использование методов искусственного интеллекта в различных функциональных компонентах — от сенсорных до исполнительных. Аналогичная тенденция к децентрализации наметилась в энергопитании. В основе этих процессов по-прежнему лежит общесистемная оптимизация.

Интеграция функций на базе однородных структур приходит на смену модульному принципу их построения при переходе к миллиметровой размерности. Отказу от модульного построения и переходу к однородным системам с распределенными функциями предшествует указанное выше постепенное взаимное проникновение функциональных компонентов, которое и завершается этим переходом к качественно новому типу организации. Этот переход, в свою очередь, включает два этапа.

Первый этап охватывает информационные компоненты (сенсорные, информационно-управляющие, связи), а второй — силовые (исполнительные, энергопитания). В настоящее время происходит реализация первого этапа на основе нейроподобных структур. При этом отдельные функции выполняются участками таких структур с возможностью их оперативного перераспределения и изменения границ. Такая организация подобна мультиагентным системам в компьютерных сетях. Отдельные компоненты теряют свою конструктивную самостоятельность и превращаются в программные модули-агенты, размещенные в однородной материальной среде. При групповом применении роботов, когда возникает их общая информационная среда, эти агенты, как и компоненты единого коллективного технического интеллекта, становятся общими для всего сообщества роботов.

Второй этап освоения однородных структур — это реализация указанного принципа в силовых функциональных компонентах, что требует поиска новых физических идей и путей

их технической реализации. Речь идет, прежде всего, о новом подходе к построению приводов по типу искусственных мышц (параллельно-последовательная работа множества элементарных микродвигателей). Улучшение массогабаритных параметров должно обеспечивать прежде всего за счет новых физических принципов действия и новых материалов, в частности полимеров и композитов. Переход к таким исполнительным устройствам позволит кардинально повысить надежность автоматических систем.

Новым направлением в развитии средств автоматизации является экстремальная робототехника, позволяющая заменить человека при выполнении опасных работ автоматическими системами.

## Литература

1. Компьютеризированные интегрированные производства и CALS-технологии в машиностроении / Т. А. Альперович, В. В. Барабанов, А. Н. Давыдов [и др.]. — Москва : Изд-во ВИАМИ, 1999.
2. Антимиров, В. М. Системы автоматического управления : учебное пособие для вузов / В. М. Антимиров ; под науч. ред. В. В. Телицина. — Москва : Издательство Юрайт, 2017.
3. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов, А. Г. Схиртладзе [и др.]. — Москва : Высшая школа, 2004.
4. Рачков, М. Ю. Оборудование и основы построения ГАП / М. Ю. Рачков. — Москва : Высшая школа, 1991.
5. Рачков, М. Ю. Робот вертикального перемещения по сложным поверхностям / М. Ю. Рачков // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2002. — № 6. — С. 26—30.
6. Рачков, М. Ю. Мультисенсорный робот для гуманитарного разминирования / М. Ю. Рачков // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2004. — № 7. — С. 18—28.
7. Рогов, В. А. Средства автоматизации и управления : учебник для академического бакалавриата / В. А. Рогов, А. Д. Чудаков. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2017.
8. Сосонкин, В. Л. Системы числового программного управления / В. Л. Сосонкин, Г. М. Мартинов. — Москва : Логос, 2005.
9. Haferkamp, H. Underwater Climbing Robot for Contact Arc Metal Drilling and Cutting / H. Haferkamp, Fr. — W. Bach, M. Rachkov, J. Lindemaier // Proc. of the 22<sup>nd</sup> Int. Conf. of the IEEE Industrial Electronics Society. — 1996. — Vol. 3.
10. Rachkov, M. Automation of demining / M. Rachkov, L. Marques, A. T. Almeida. — Coimbra : University Press, 2002.

## **Новые издания по дисциплине «Технические средства автоматизации» и смежным дисциплинам**

1. *Рогов, В. А.* Средства автоматизации и управления : учебник для академического бакалавриата / В. А. Рогов, А. Д. Чудakov. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 352 с. — (Бакалавр. Академический курс).

2. Технические средства автоматизации и управления : учебник для академического бакалавриата / О. С. Колосов [и др.] ; под общей редакцией О. С. Колосова. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 291 с. — (Бакалавр. Академический курс).

3. *Щепетов, А. Г.* Основы проектирования приборов и систем. Задачи и упражнения. Mathcad для приборостроения : учебное пособие для академического бакалавриата / А. Г. Щепетов. — 2-е изд., стер. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 270 с. — (Бакалавр. Академический курс).



**Наши книги можно приобрести:**

**Учебным заведениям и библиотекам:**  
в отделе по работе с вузами  
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: [vuz@urait.ru](mailto:vuz@urait.ru)

**Частным лицам:**  
список магазинов смотрите на сайте [urait.ru](http://urait.ru)  
в разделе «Частным лицам»

**Магазинам и корпоративным клиентам:**  
в отделе продаж  
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: [sales@urait.ru](mailto:sales@urait.ru)

**Отзывы об издании присылайте в редакцию**  
e-mail: [gred@urait.ru](mailto:gred@urait.ru)

**Новые издания и дополнительные материалы доступны  
на образовательной платформе «Юрайт» [urait.ru](http://urait.ru),  
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

*Учебное издание*

**Рачков Михаил Юрьевич**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

Учебник для СПО

Формат 60×90 1/16.  
Гарнитура «Charter». Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 11,38

**ООО «Издательство Юрайт»**  
111123, г. Москва, ул. Плеханова, д. 4а.  
Тел.: (495) 744-00-12. E-mail: [izdat@urait.ru](mailto:izdat@urait.ru), [www.urait.ru](http://www.urait.ru)