

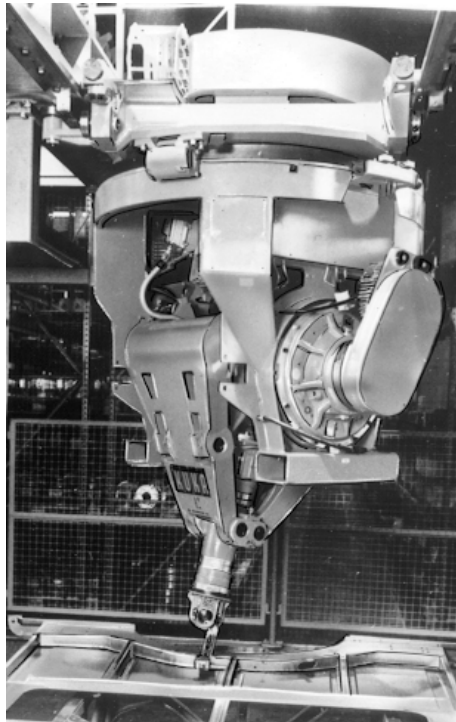


Рис.9.7. Сварочный робот фирмы КУКА.

боты для контактной точечной сварки имеют специальную конструкцию, которая предусматривает размещение сварочного трансформатора и токопроводящего кабеля, идущего от него к сварочным клещам. Сварочный трансформатор расположен обычно на манипуляторе ПР, в том числе и непосредственно в его рабочем органе (с целью максимально сократить длину кабеля от трансформатора к сварочным клещам, по которым проходит большой импульсный сварочный ток). Грузоподъемность таких сварочных ПР обычно составляет 20-30 кг. Управление ПР для контактной точечной сварки дискретное позиционное. Устройство управления должно быть рассчитано на работу в условиях сильных электромагнитных помех, создаваемых импульсами сварочного тока.

Наиболее широко контактная точечная сварка с помощью ПР применяется в автомобилестроении (сварка кузовов), судостроении и вагоностроении. На рис.9.8 показан участок сварки кузовов автомобилей с помощью ПР.

Дуговая сварка — более сложный технологический процесс, чем контактная точечная. Здесь требуется осуществлять непрерывное перемещение сварочного электрода с определенной скоростью по сложной траектории вдоль свариваемого шва с одновременным поперечным перемещением для создания нужной формы. Электрод при этом должен сохранять определенную ориентацию по отношению к плоскости шва. Грузоподъемность ПР для дуговой сварки меньше, чем ПР для контактной точечной, и не превышает 5-8 кг. Промышленный робот для дуговой сварки часто комплектуется еще столом с несколькими степенями подвижности по углу для размещения на нем свариваемых изделий и манипулирования ими перед ПР.



Рис.9.8. Участок точечной сварки роботами кузовов автомобилей.

В функции устройства управления ПР для дуговой сварки помимо управления движением входит еще регулирование параметров режима сварки (тока, напряжения дуги, притока газа и т.д.). Управление при этом должно быть адаптивным. Основные задачи адаптации — это поиск начала шва, слежение за кромками свариваемых деталей с учетом возможной кривизны их поверхностей и ориентации электрода. Кроме того, адаптация требуется при регулировании технологических параметров собственно процесса сварки с учетом состояния внешней среды.

Для контроля положения электродов относительно кромок свариваемых деталей применяют контактные и магнитные датчики, ультразвуковые и оптические дальномеры, телевизионные системы. На рис.9.9 показан робототехнический комплекс для дуговой сварки в комплекте с манипуляционным столом — так называемый сварочный центр.

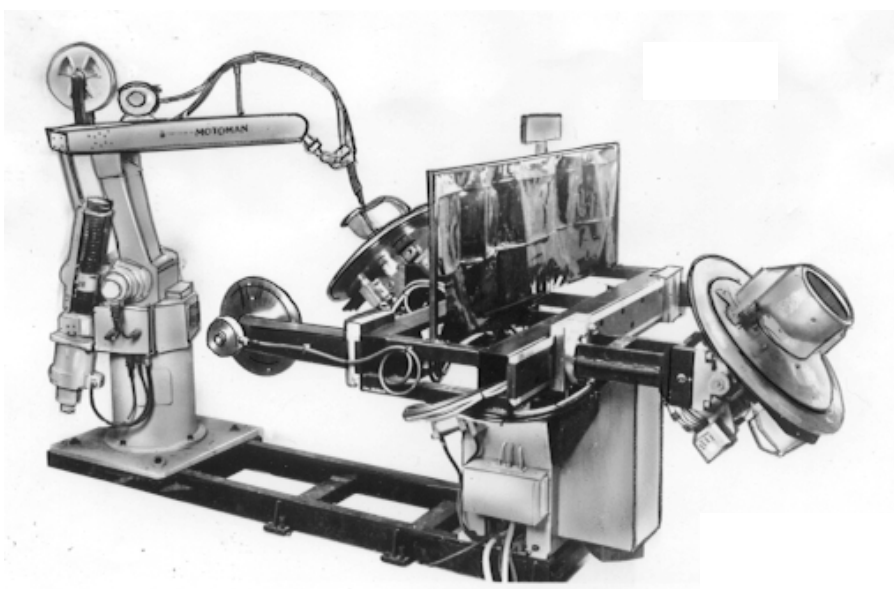


Рис.9.9. Робототехнический комплекс для дуговой сварки с ПР «Мотоман» с двухкоординатным столом.

Электронно-лучевая сварка осуществляется в вакууме путем перемещения электронного пучка, создаваемого электронной пушкой, по линии шва. Этот вид сварки интересен тем, что в отличие от обычных механических манипуляторов здесь манипулирование производится электронным лучом с помощью отклоняющего магнитного или электрического поля. (Хотя существуют установки и с перемещением стола, на котором крепятся свариваемые детали.) Управление движением луча по шву осуществляется в простейших случаях по жесткой программе, а при наиболее сложных траекториях стыка – с применением адаптивного управления и обратной связи через телевизионную систему технического зрения.

С робототехническими комплексами для сварки схожи комплексы для пайки и резки (дугой, лазерным лучом, плазмой). Последние, в частности, широко применяют для раскроя материала и снабжают обычно устройствами ЧПУ.

9.4. Робототехнические комплексы для нанесения покрытий.

Промышленные роботы нашли применение на операциях нанесения покрытий различного назначения: лакокрасочных, защитных, упрочняющих, герметизирующих и т.п. Операции эти для человека не только физически тяжелы, но и вредны для здоровья. В большинстве случаев нанесение покрытий связано с применением взрыво- и пожароопасных веществ. Поэтому используемые на таких операциях ПР должны иметь взрывобезопасное исполнение. Для нанесения покрытий широко применяют пульверизаторы. На рис.9.10 показан ПР с пульверизатором в качестве ра-

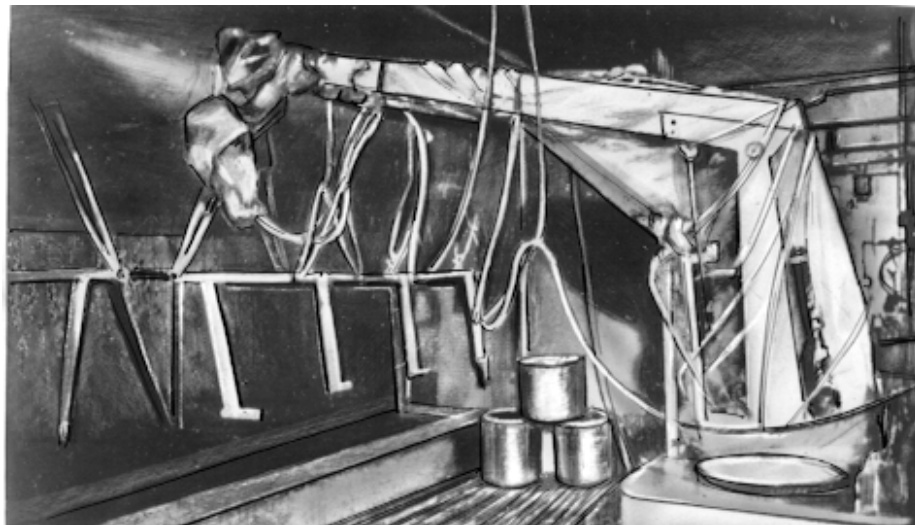


Рис.9.10. Роботизированный окрасочный комплекс с ПР фирмы «Девилбис» (США).

бочего органа. Робот такого же назначения был показан на рис.4.9. Управление такими ПР – непрерывное (контурное) с программированием методом обучения. По сравнению со сварочными ПР требование к точности ПР для нанесения покрытий существенно ниже, а к быстродействию, наоборот, выше. Применяется в этих ПР и

адаптивное управление: с использованием системы технического зрения для определения габаритов очередного изделия, на которое должно быть нанесено покрытие. По полученным данным автоматически выбирается и корректируется управляющая программа для ПР.

Другим вариантом технологии нанесения покрытий является использование для этого электростатического поля. Этот способ обеспечивает высокое качество покрытия и более экономичен. Однако высокое напряжение (десятки киловольт) создает дополнительную взрывоопасность, что ограничивает область применения окрасочных ПР с такого типа распылителями.

Широкое применение получили средства робототехники для нанесения гальванических покрытий. Основная манипуляционная операция здесь — это погружение в ванны деталей или корзин с деталями и перемещение их от одной ванны к другой. Операция эта выполняется с помощью простых однопрограммных

автооператоров. На рис.9.11 показана линия гальванопокрытий. Сегодня тысячи автооператоров заменяют рабочих в этом вредном производстве.

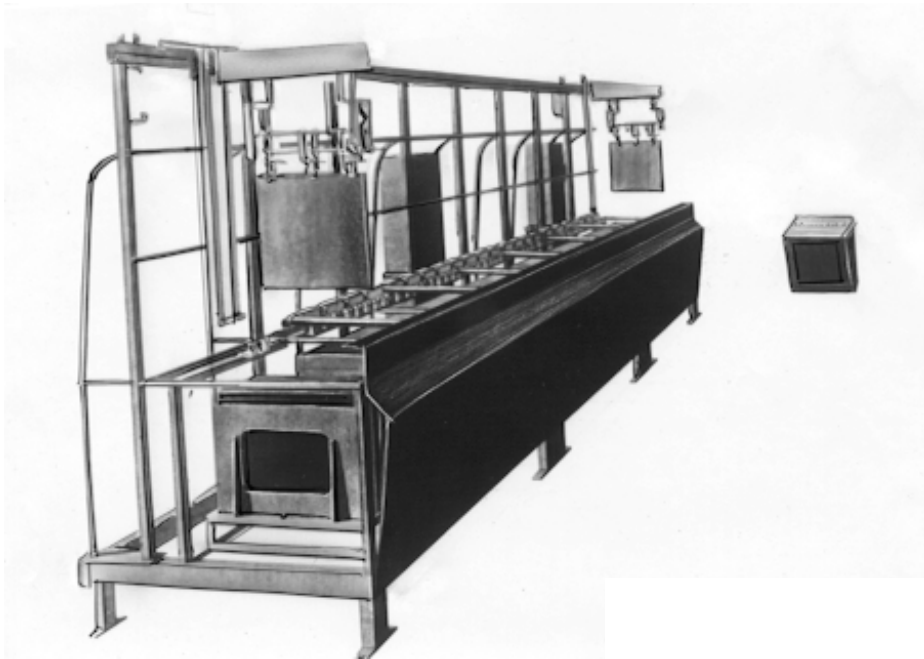


Рис.9.11. Линия гальванопокрытий с автооператорами.

Близки к процессу нанесения покрытий пескоструйная и дробеструйная обработка поверхностей. На этих операциях также нашли применение ПР с непрерывным управлением. Из других основных технологических операций, где используются ПР с непрерывным управлением, следует назвать шлифование, зачистку (например, отливок), обрубку облоя.

Промышленные роботы с дискретным позиционным управлением применяют также на клепке и для контроля размеров. Для последней операции созданы специальные измерительные машины, рабочим органом которых является измерительный щуп, которым производится ощупывание контролируемого изделия в нужных точках. Обычно такие измерительные машины имеют прямоугольную систе-

му координат и ЧПУ, обеспечивающее точность до единиц микрометров. На рис.9.12 показан пример такой измерительной машины.



Рис.9.12. Измерительная машина фирмы DEA (Италия).

ГЛАВА 10. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ НА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ.

10.1. Классификация роботизированных технологических комплексов.

Одна из актуальных задач робототехники – замена рабочих, занятых на вспомогательных операциях. Хотя, как было отмечено выше, стоимость автоматизации вспомогательных операций в три-четыре раза ниже, чем основных, степень их автоматизации почти вдвое ниже. В результате сегодня около половины рабочих, занятых в промышленности, работают на таких наименее престижных и не требующих высокой квалификации ручных операциях. Роботизированные технологические комплексы (РТК), в которых ПР используются на вспомогательных операциях по обслуживанию основного технологического оборудования, и сами такие ПР классифицируются по виду основного технологического процесса или реализующего его основного технологического оборудования. Основными по значению типами таких РТК являются РТК механообработки, штамповки, прессования пластмасс, горячей штамповки иковки, литья под давлением и внутрицехового транспорта.

10.2. Роботизированные технологические комплексы механообработки.

Одна из главных областей применения ПР на вспомогательных операциях – это обслуживание металлорежущих станков. Здесь ПР выполняют наиболее типичную вспомогательную операцию загрузки-разгрузки оборудования, т.е. установки обрабатываемой детали и снятие ее по окончании обработки. Аналогичные операции осуществляют ПР и при обслуживании других типов технологического оборудования. Имеются еще и некоторые более специальные вспомогательные операции, выполняемые ПР, такие как смазка пресс-форм, окунание деталей в жидкость, межоперационная транспортировка, штабелирование, упаковка и т.д. Основным технологическим оборудованием в РТК механообработки служат станки токарные, сверлильные, фрезерные, зубообрабатывающие, шлифовальные и т.д. К технологическому оборудованию предъявляются следующие основные требования: автоматический режим работы, взаимная согласуемость систем управления, возможность доступа ПР в зону установки детали на станке.

Для обеспечения автоматического режима РТК в его состав должны входить устройства размельчения и удаления стружки, смазки и охлаждения рабочих органов и инструмента, очистки поверхностей базирования, средства контроля качества обработки изделий, магазины с поштучной выдачей ориентированных деталей, устройства ограждения. В соответствии с первым требованием основным типом станков для РТК являются станки с ЧПУ.

Вследствие значительного времени механообработки здесь, как отмечалось в параграфе 8.2, широкое применение получило обслуживание одним ПР нескольких станков. Варианты соответствующих компоновок РТК со стационарными и мобильными ПР приведены на рис.8.3-8.5.

Для обслуживания станков в простейших случаях применяют ПР с цикловым управлением, а наиболее общим вариантом является использование дискретных позиционных ПР. Эти ПР перепрограммируются в среднем раз в неделю, т.е. реже, чем обслуживаемые ими станки с ЧПУ. Средняя длительность цикла работы таких ПР – единицы минут.

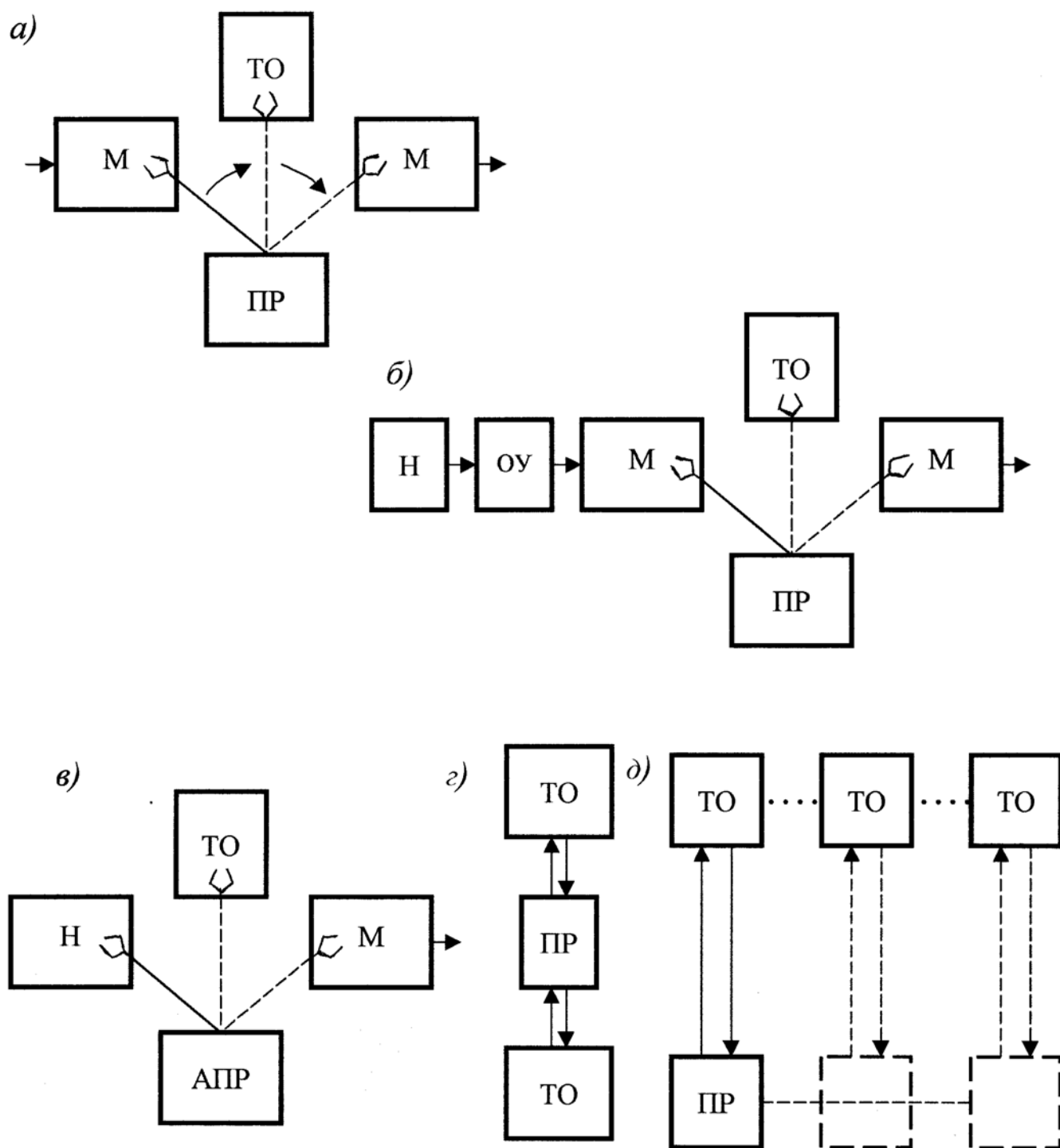


Рис. 10.1. Компоновки роботизированных технологических ячеек «станок – ПР»:

ТО – основное технологическое оборудование, М – магазин с поштучной выдачей ориентированных деталей, ОУ – ориентирующее устройство, Н – детали навалом, АПР – адаптивный ПР.

На рис.10.1,а показана простейшая роботизированная технологическая ячейка «станок – ПР». Деталь, которую надо обработать, ПР берет из левого магазина. Здесь они расположены в ориентированном положении в ячейках или подаются поштучно к ПР. По окончании обработки ПР снимает деталь и кладет ее в правый магазин. Из таких ячеек собирают участки, подобные показанному на рис.8.5. При последовательном соединении подобных ячеек в линию все последующие ячейки получают детали из магазина на выходе предыдущей ячейки. Однако для левого магазина самой первой ячейки существует задача предварительного ориентированного размещения в нем деталей, получаемых в общем случае в неориентированном виде, т.е. навалом. Принципиально возможны следующие варианты решения этой задачи:

- применение специального ориентирующего устройства (рис.10.1,б),
- использование для загрузки магазина адаптивного ПР,
- применение такого ПР для обслуживания станка первой ячейки (рис.10.1,в).

В настоящее время широкое распространение получили специальные ориентирующие устройства типа вибробункеров.

Основной недостаток применения адаптированных ПР – их значительная стоимость. Поэтому в тех случаях, когда могут быть использованы специальные ориентирующие устройства, они являются более предпочтительными. К сожалению, однако, область их применения, как и вообще всех специальных устройств, ограничена крупносерийным и серийным производством с достаточно редкой сменяемостью обрабатываемых деталей. Для ослабления этого ограничения создаются перестраиваемые ориентирующие устройства (со сменными частями и т.п.).

Вариант использования адаптивного ПР непосредственно для обслуживания станков применим в основном только при достаточно длительном цикле обработки деталей на станке, когда время работы ПР заведомо меньше цикла работы станка. Особенно эффективно применение таких ПР, когда значительная длительность цикла обработки позволяет осуществить обслуживание одним ПР нескольких станков (рис.10.1,г и д). В этом случае стоимость ПР соответственно распределяется на несколько технологических ячеек.

На рис. 10.2 показан цех механообработки, где автоматизированы все операции, включая транспортно-складские. Система управления включает микро-ЭВМ, устройство беспроводной связи и пульт с речевым командным устройством.

10.3. Роботизированные технологические комплексы холодной штамповки.

Одной из областей широкого применения ПР является холодная листовая штамповка. Объясняется это большим травматизмом, достигающем 30%, и монотонностью обслуживания прессов, а также простотой применения на этих операциях ПР. Промышленный робот используется здесь, как и в механообработке, прежде всего для выполнения операций загрузки-разгрузки: загрузка прессов исходным листовым материалом, т.е. подача его в штамп, и разгрузка штампа, т.е.

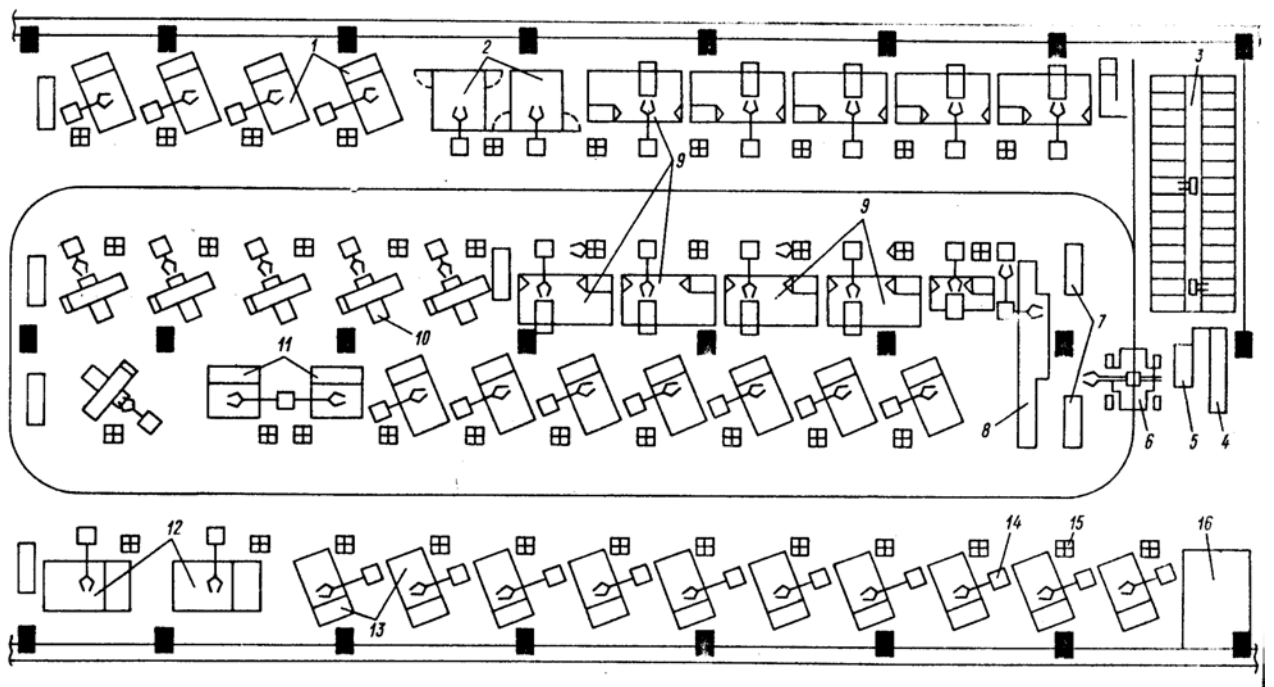


Рис.10.2. Роботизированный цех механообработки: 1, 2, 11, 12, 3 — токарные станки; 3 — склад; 4 — загрузочное устройство; 5 — разгрузочное устройство; 6 — напольные транспортные ПР; 7 — промежуточные склады; 8 — протяжной станок; 9 — шлифовальные станки; 10 — фрезерные станки; 14 — ПР; 15 — магазины; 16 — пульт диспетчера

съем штамповки и укладки ее в магазин. На рис. 8.1 и 8.2 были представлены основные компоновки РТК холодной штамповки.

Основной особенностью применения ПР на холодной штамповке по сравнению с механообработкой является необходимость обеспечить значительно большее быстродействие, поскольку цикл работы прессы измеряется всего несколькими секундами. Используемые здесь ПР имеют простое цикловое управление, как правило, цилиндрическую систему координат и не более трех степеней подвижности. Захватное устройство чаще всего выполняется в виде вакуумных присосок. Для обеспечения необходимой быстроты обслуживания прессы часто применяют ПР с двумя манипуляторами — один для загрузки, а другой для загрузки штампа. Иногда также разгрузку осуществляют с помощью устанавливаемого на станине прессы толкателя или штамповка сдувается сжатым воздухом. На рис.10.3 показан пример РТК холодной штамповки с адаптивным ПР на входе для взятия заготовок из навала.

Адаптивный позиционный робот ПР1 с техническим зрением берет неориентированные листовые заготовки из магазина М1, где они расположены навалом, и в произвольном положении кладет на стол С. Над столом расположены видеодатчик ВД (телевизионная камера) и устройство подсветки УП. Информация от видеодатчика поступает на устройство предварительной обработки видеoinформации УПО, где осуществляется выделение контура заготовки. Далее в мини-ЭВМ вычисляются координаты и ориентация заготовки и формируются кор-

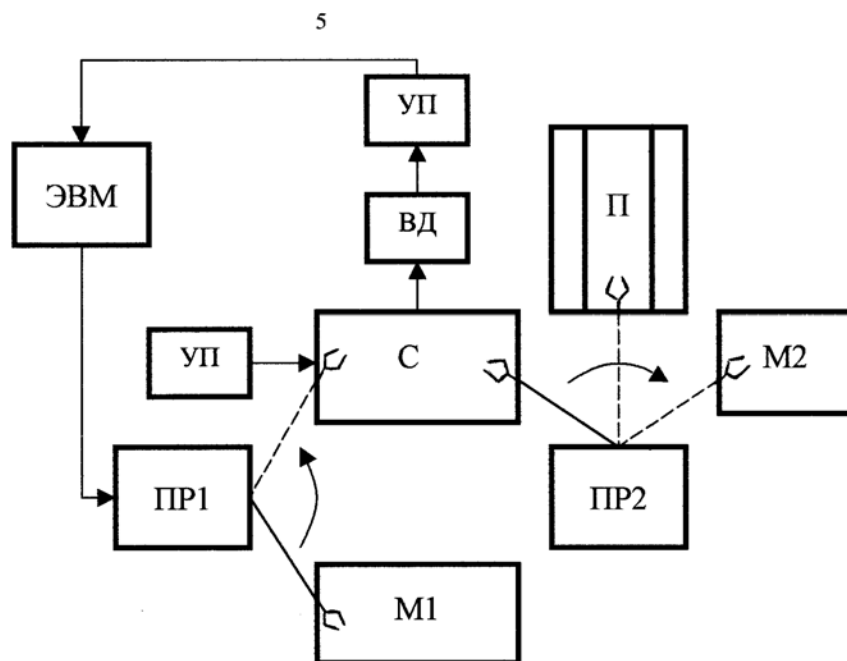


Рис.10.3. Роботизированный комплекс холодной штамповки с адаптивным ПР на входе

ректирующие сигналы в устройство управления ПР1, по которым последний смещает заготовку на столе в расчетную позицию для возможности последующего взятия ее цикловым промышленным роботом ПР2. Цикловой ПР устанавливает эту заготовку в пресс П, извлекает из него отштампованную деталь и кладет в магазин М2 готовых деталей.

На рис. 10.4 показан пример планировки цеха холодной листовой штамповки радиозавода.

АСУ цеха осуществляет оперативное и календарное планирование производства, включая определение потребностей в материалах, заготовках, планирование и управление для отдельных участков, складов и транспортных систем, решение других задач АСУ цеха, в том числе обмен информацией с АСУ завода.

Номенклатура изготавливаемых деталей включает такие типовые для радиотехнических изделий детали, как основания, платы, кронштейны, скобы и т.п. Исходный листовой материал на участке раскроя превращается в заготовки в виде полос. Лист раскраивается по картам, рассчитанным на ЭВМ. Заготовки сдаются на склад заготовок. Отсюда по команде АСУ цеха они поступают через транспортную систему на линию кассетирования, и далее заполненные кассеты попадают на склад заготовок. Участки штамповки снабжаются заготовками и оснасткой через соответствующую транспортную систему, которая обеспечивает также транспортировку готовых деталей на склад готовой продукции. Транспортные системы построены на базе напольных транспортно-загрузочных роботов. Общее управление цехом осуществляет оператор с помощью пульта, на который поступает информация о выработке кассет с заготовками, заполнении магазинов готовой

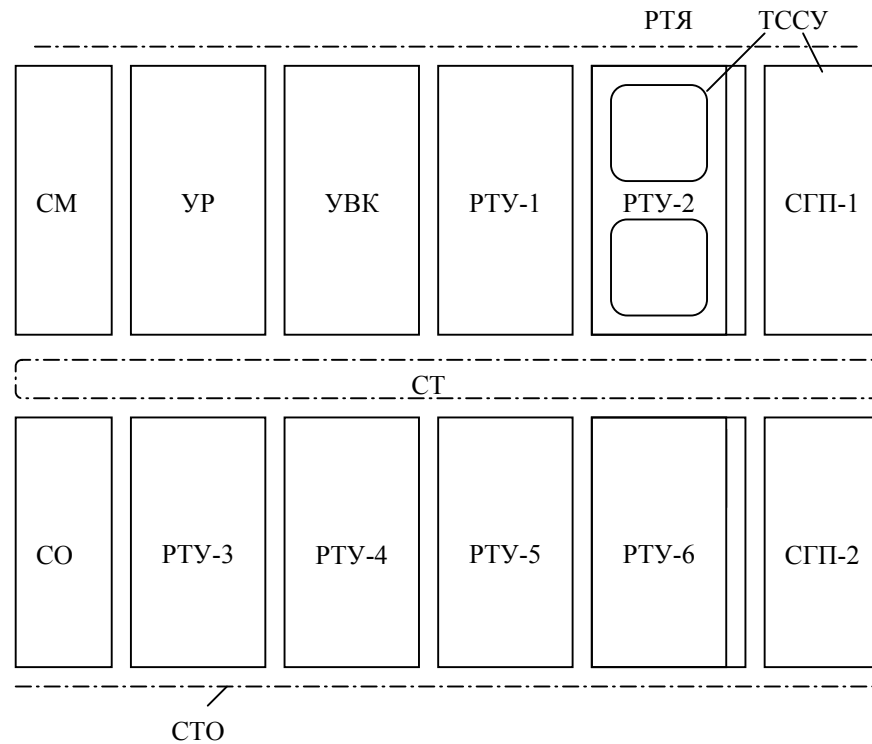


Рис. 10.4. Планировка роботизированного цеха холодной листовой штамповки: УР —участок раскроя; УВК — участок вырубki и кассетирования; РТУ-1 — РТУ-6 — роботизированные технологические участки; СТ — система транспортировки технологической оснастки, заготовок и готовой продукции; СТО — система транспортировки и сортировки отходов; ТССУ — транспортно-складская система участка; СГП-1 – СГП-2 — склады готовой продукции; CM — склад материалов; СО — склад оснастки

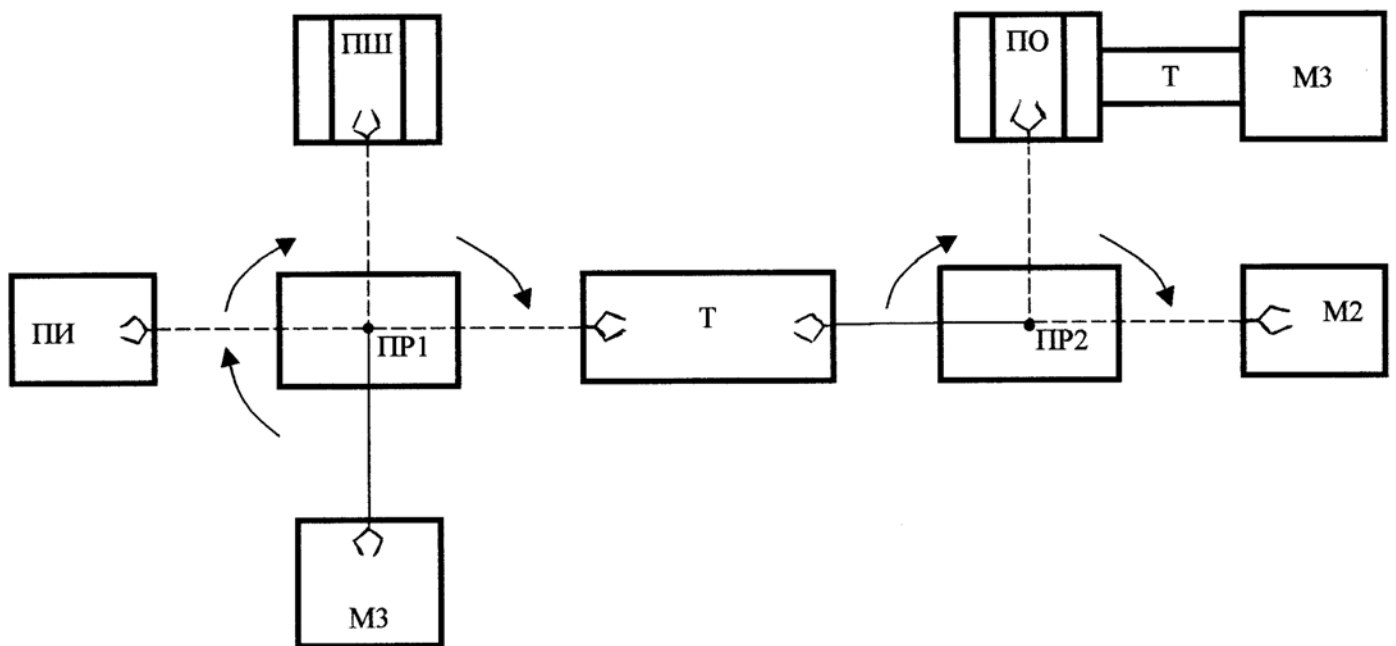
продукцией, положении транспортно-загрузочных роботов, возможных неисправностях в работе оборудования.

10.4. Роботизированные технологические комплексы в кузнечно-штамповочном производстве.

Основным стимулом для автоматизации кузнечно-штамповочного производства наряду с повышением производительности являются тяжелые условия работы в кузнечных цехах. Однако в отличие, например, от холодной штамповки задача комплексной автоматизации такого производства представляет значительные трудности. Это связано со сложностью работы кузнеца. Поэтому наряду с ПР здесь широко применяют манипуляторы с ручным и автоматизированным управлением — ковочные телеоператоры, управляемые квалифицированным кузнецом.

Помимо собственно штамповки автоматизации подлежат операции загрузки заготовок в нагревательную печь, извлечения нагретой заготовки из печи, перемещение ее к ковочному прессу, манипулирования заготовкой при ковке, укладки готовой поковки в магазин. Кроме того, имеется еще ряд таких вспомогательных операций как смазка и обдувка штампа (сдув окалины), обрезка облоя с детали и укладка его в тару.

На рис.10.5 показана схема РТК горячей объемной штамповки, включающий



два ПР: ПР1 – робот-кузнец и ПР2 – робот-обрубщик. Робот-кузнец обслуживает ин-

дукционную печь для нагрева заготовок и пресс горячей штамповки, а робот-обрубщик – обрезной пресс для обрубки облоя с поковки. Поковки к обрезному прессу и облой в магазин транспортируются с помощью транспортера.

Сегодня более 80% выпускаемой номенклатуры поковок массой 25-500 кг изготавливают методом свободной поковки. РТК свободной поковки включает обычно гидравлический пресс и манипулятор, с помощью которого оператор-кузнец осуществляет манипулирование заготовками при ковке.

Система управления комплексом, выполненная на микро-ЭВМ, предусматривает следующие режимы:

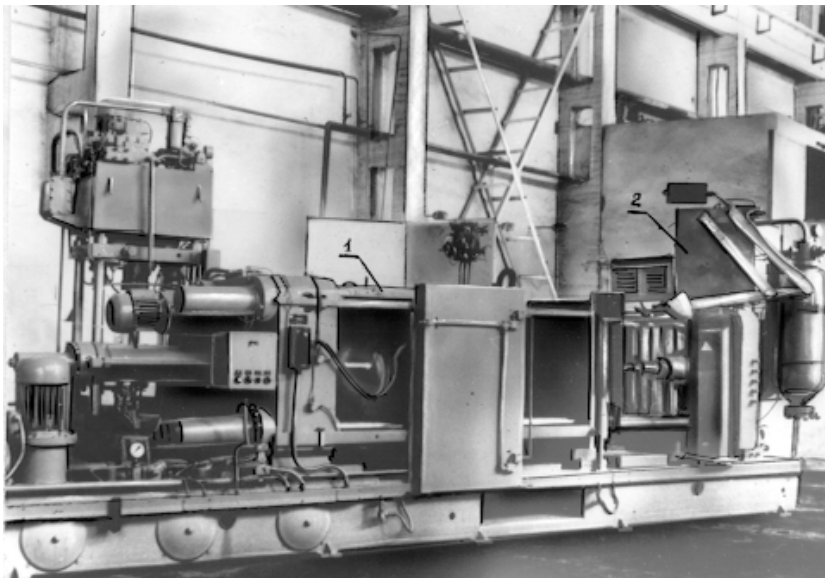
- полуавтоматическое управление прессом с помощью пульта управления;
- полуавтоматическое управление манипулятором в копирующем режиме с помощью задающей рукоятки, расположенной на пульте управления;
- автоматическое управление по заранее введенной в память устройства управления программе (с возможностью оперативного вмешательства оператора путем прерывания выполнения программы с переходом на другую программу или другой режим управления);
- программирование манипулятора методом обучения с помощью управляющей рукоятки.

10.5. Роботизированные технологические комплексы литья под давлением.

Процесс производства деталей методом литья под давлением заключается в заливке через горловину в машину литья под давлением определенной порции жидкого металла, взятого из печи, затем в удалении готовой отливки и подаче ее для обрубки литникового остатка. Кроме того, необходимо осуществлять смазку и обдув прессформ. Эффективность применения ПР для обслуживания машин литья под давлением связана с тем, что при обслуживании их рабочим значительны потери металла из-за неточности его дозирования и разбрызгивания при разливе, а также простои оборудования и снижение производительности из-за большой утомляемости рабочего. При этом условия труда являются не только тяжелыми, но и вредным для здоровья.

Роботизированный комплекс литья под давлением состоит из раздаточной печи, машины литья под давлением, прессы для обрубки литников, робота-заливщика и робота для взятия отливки и охлаждения ее в баке с водой. На рис.10.6 показан участок литья под давлением, обслуживаемый двумя ПР. Робот-заливщик погружает свой рабочий орган – ковш в расплавленный металл в раздаточной печи. Глубина погружения ковша определяет массу забираемого им металла и контролируется специальными контактными датчиками. После определенной выдержки времени, необходимой для разогрева и заполнения ковша, ковш поднимается, перемещается к приемнику металла машины литья под давлением и наклоняется для слива металла. После его полного слива осуществляется основная операция прессования. После раскрытия пресс-формы отливка выталкивается толкателем и переносится вторым роботом в бак с водой, где происходит ее охлаждение. Затем тем же роботом она подается на пресс для обрубки литников и сбрасывается в магазин.

а)



б)

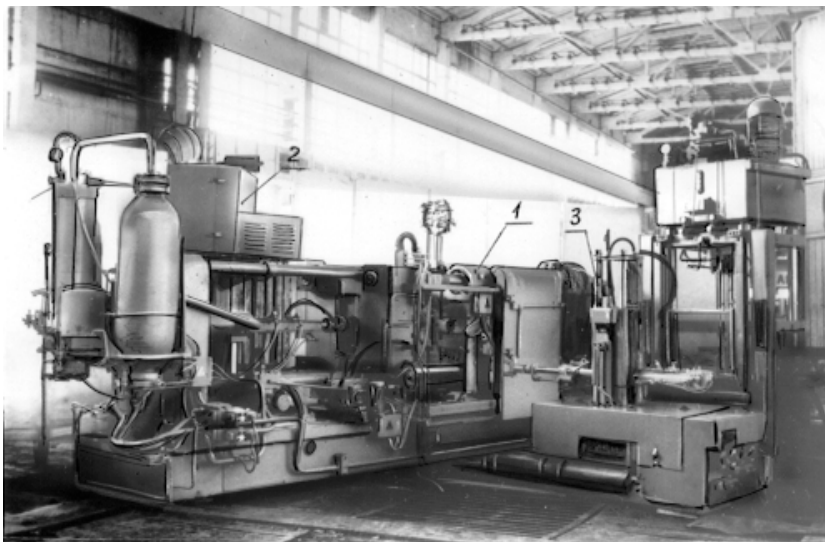


Рис.10.6. Роботизированный комплекс литья под давлением:

а – вид со стороны робота заливщика;

б – вид со стороны робота, снимающего отливку;

1 – машина для литья под давлением, 2 – робот-заливщик, 3 – робот для снятия отливок, 4 – пресс для обрубки литников.

ГЛАВА 11. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ РОБОТОТЕХНИКИ В НЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ И В НЕПРОМЫШЛЕННЫХ ОТРАСЛЯХ.

11.1. Робототехника в немашиностроительных отраслях промышленности.

Помимо машиностроения и приборостроения средства робототехники все более широкое применение получают в угольной и горнодобывающей промышленности, черной и цветной металлургии, строительстве, легкой и пищевой промышленности, транспорте. Важность развития робототехники в этих направлениях очевидна уже из того факта, что здесь используется большая часть трудовых ресурсов страны, а степень автоматизации ниже, чем в машиностроении. Сегодня развитие применения средств робототехники в немашиностроительных отраслях происходит прежде всего путем использования опыта машиностроительных отраслей по применению созданных там роботов на тех же или аналогичных операциях — при обслуживании основного технологического оборудования, на погрузо-разгрузочных работах, при выполнении таких основных операций как нанесение покрытий, сварка, сборочно-монтажные работы и т.п. Опыт создания и применения роботов и неавтоматических манипуляторов, специально предназначенных для этих отраслей, пока невелик. Общее количество используемых в немашиностроительных отраслях роботов и манипуляторов не превышает 20 % их общего парка. Анализ основных немашиностроительных отраслей показывает, что только за счет использования роботов общепромышленного применения эта величина может быть увеличена примерно вдвое.

Однако для основной части производств в этих отраслях требуются роботы специальных типов. В табл. 11.1 приведены примеры применений средств робототехники в немашиностроительных отраслях. Анализ технических требований к роботам, необходимым для этих отраслей, и условий их эксплуатации показывает, что в отличие от машиностроения здесь значительно меньше возможностей для применения роботов с чисто программным управлением и требуются прежде всего роботы осязательные с адаптивным управлением. Это объясняется тем, что в немашиностроительных отраслях существуют значительно большая неопределенность и варьированность как параметров объектов манипулирования, так и внешней среды в целом. Здесь требуется большая доля мобильных роботов (в том числе для передвижения по открытой местности), роботов повышенной грузоподъемности и для работы в экстремальных условиях.

В горном деле важной задачей является создание робототехнических комплексов для безлюдной выемки полезных ископаемых. Это позволит высвободить сотни тысяч горняков от работы в тяжелых и опасных подземных условиях, повысить в 4—10 раз производительность труда, существенно снизить себестоимость добычи и свести к минимуму потери руды.

Таблица 11.1.

Примеры применения средств робототехники в немашиностроительных и непромышленных отраслях хозяйства.

Операция	Тип средств робототехники
<i>Угольная и горнодобывающая промышленность</i>	
Установка крепи в забое	Мобильный робот с техническим зрением и двумя манипуляторами
Бурение шурпов	Многоманипуляторный мобильный робот с навигационной системой
Отделение угля от породы	Робот с техническим зрением и другими средствами осязания.
Погрузка горной массы Погрузо-разгрузочные работы в обогатительном производстве	Мобильный робот-погрузчик
<i>Металлургия</i>	
Загрузка чушек и металлолома в печь	Манипулятор с управлением от оператора
Ремонт огнеупорной кладки печей, домен	Мобильный робот
Пробивка корки шлака и устранение анодного эффекта при электролизе алюминия	
Извлечение штырей в электролазерах и их перестановка	
Укладка и обвязка пакетов чушек, их погрузка и доставка	

Продолжение таблицы 11.1.

Операция	Тип средств робототехники
<i>Лесозаготовительное производство</i>	
Валочно-пакетирующие работы на лесосеках	Манипулятор с управлением от оператора
<i>Деревообрабатывающее производство</i>	
Погрузочные работы	Средства робототехники, аналогичные применяемым в машиностроительном производстве
<i>Строительная промышленность</i>	
Укладка кирпичей	Робот-каменщик
Сортировка кирпича на конвейере	Робот с техническим зрением и дальномерной сенсорной системой
Загрузка печей кирпичами и выгрузка	
Облицовочные работы	Робот для монтажа облицовочных плиток
Монтаж металлоконструкций (зданий, мостов, резервуаров и т.п.)	Робот-монтажник-высотник
Окрасочные работы	Робот-маляр
<i>Легкая и пищевая промышленность</i>	
Обслуживание основного технологического оборудования (пряделных и швейных машин, агрегатов, формирующих синтетические нити, прессов горячей вулканизации, печей для обжига керамических изделий и т.п.)	Средства робототехники, аналогичные применяемым в машиностроении и приборостроении

Продолжение таблицы 11.1.

Операция	Тип средств робототехники
Внутрицеховые погрузо-разгрузочные и транспортные работы Раскрой кожи и других материалов Укладка в тару конфет, овощей при консервировании и т.п. Погрузо-разгрузочные работы в холодильниках <i>Транспорт</i> Погрузо-разгрузочные работы Регламентное обслуживание железнодорожных путей Шагающие транспортные машины <i>Агропромышленное производство</i> Уборка овощей и фруктов Прополка и прореживание овощей Обслуживание теплиц Товарная доработка плодоовощной продукции (сортировка и загрузка в контейнеры) Обслуживание свиноводческих комплексов и комплексов для крупного рогатого скота Дойка и санитарная обработка вымени коров Стрижка овец	Средства робототехники аналогичные применяемым в машиностроении Робот с техническим зрением для работы в комплексе с прореживателями Мобильный робот (для выращивания рассады, уборки продукции)

Продолжение таблицы 11.1.

Операция	Тип средств робототехники
Погрузо-разгрузочные работы с сельскохозяйственной продукцией, сеном, силосом, удобрениями и т.п. Вожделение тракторов и других сельскохозяйственных машин	Робот-тракторист
<i>Медицина</i>	
Хирургия (микрохирургия, дистанционная хирургия, стерильная хирургия)	Прецензионные манипуляторы, управляемые оператором
Внутриполостная и внутрисосудистая диагностика	Мобильные микророботы
Протезирование конечностей	
Реабилитации инвалидов и больных	Робот для массажа и физических упражнений.
Уход за больными и инвалидами	Робот-сиделка
Помощь, при передвижении слепых людей	Робот-поводырь.
<i>Сфера обслуживания</i>	
Погрузо-разгрузочные работы	
Охрана помещений	
Уборка помещений	Робот-домохозяйка
Мойка окон высотных зданий	
Уход за детьми	Робот-нянька и роботы-игрушки

В состав таких комплексов должны входить роботы для установки крепи-опалубки в забое, роботы-бурильщики шурпов, роботы-взрывники, роботы-погрузчики горной породы, роботы по обслуживанию технологических комплексов проведения выработок. Подобные роботы должны быть мобильными, снабжаться, как правило, развитой системой очувствления, включая техническое зрение, несколькими манипуляторами и иметь взрывобезопасное исполнение.

На рис.11.1 показан самоходный робототехнический проходческий комбайн, а на рис.11.2 показан робот-бурильщик шурпов.

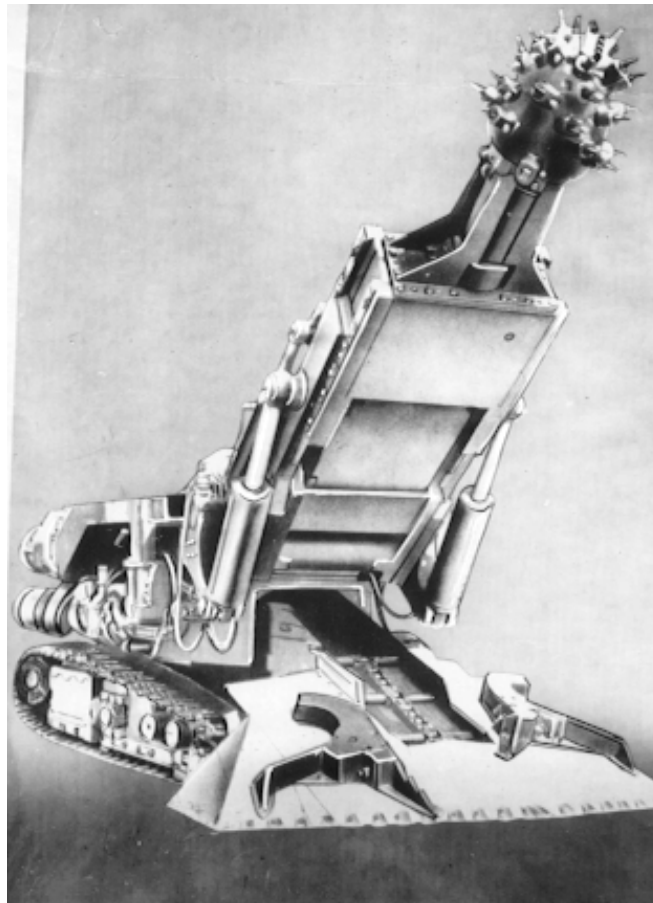


Рис.11.1. Самоходный робототехнический проходческий комбайн.

На рис.11.3 представлен робототехнический комплекс для чистки и выбивки футеровки разливочных ковшей в металлургии. Ковш располагается на позиционере, с помощью которого осуществляются перемещение ковша в горизонтальной плоскости и опрокидывание его для сброса выбитой футировки.

На рис.11.4 показан пример применения роботов на железнодорожном транспорте для мытья, дезинфекции и окраски вагонов. Гидравлический робот с контурным управлением, снабженный сменными рабочими органами, размещен на подвижном основании. Основание перемещается оператором внутри вагона с помощью пантографической стрелы по мере обработки очередной части вагона в пределах рабочей зоны робота.

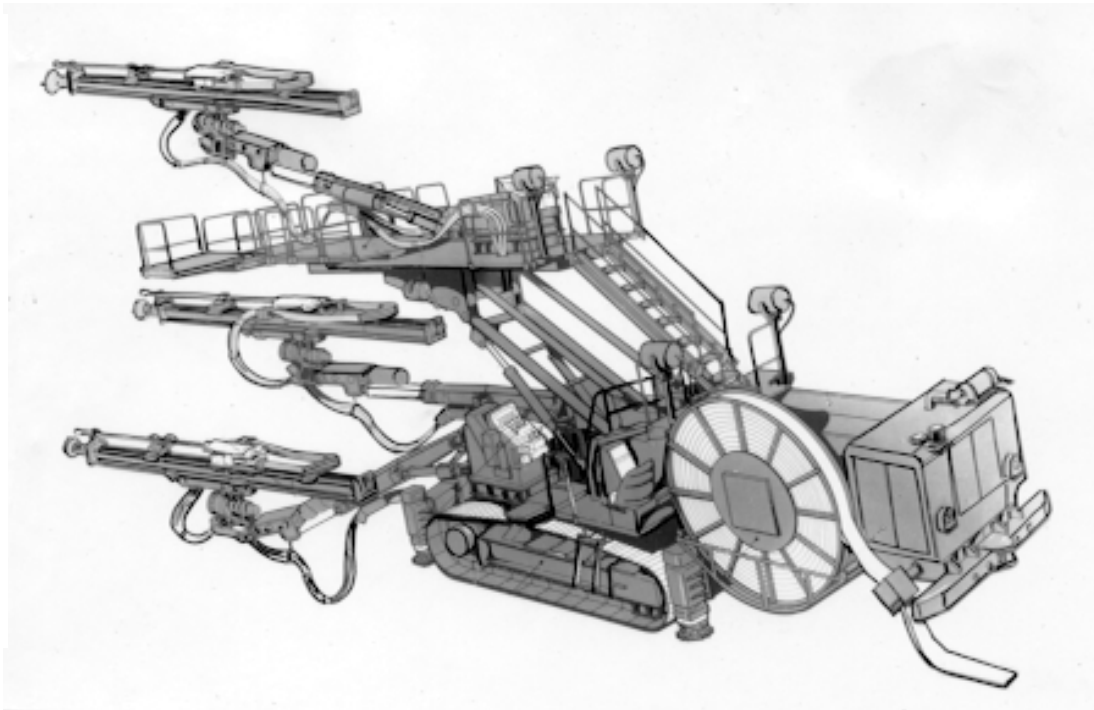


Рис.11.2. Робот для бурения шурпов (робот бурильщик).

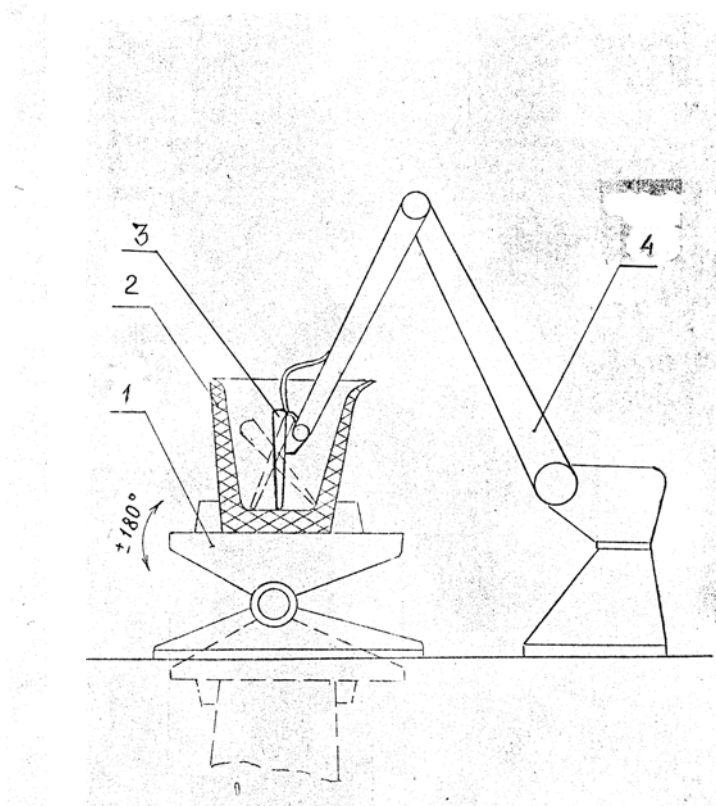


Рис.11.3. Робототехнический комплекс для чистки и выбивки футеровки разливочных ковшей:

1 – позиционер; 2 – разливочный ковш; 3 – отбойник; 4 – промышленный робот.

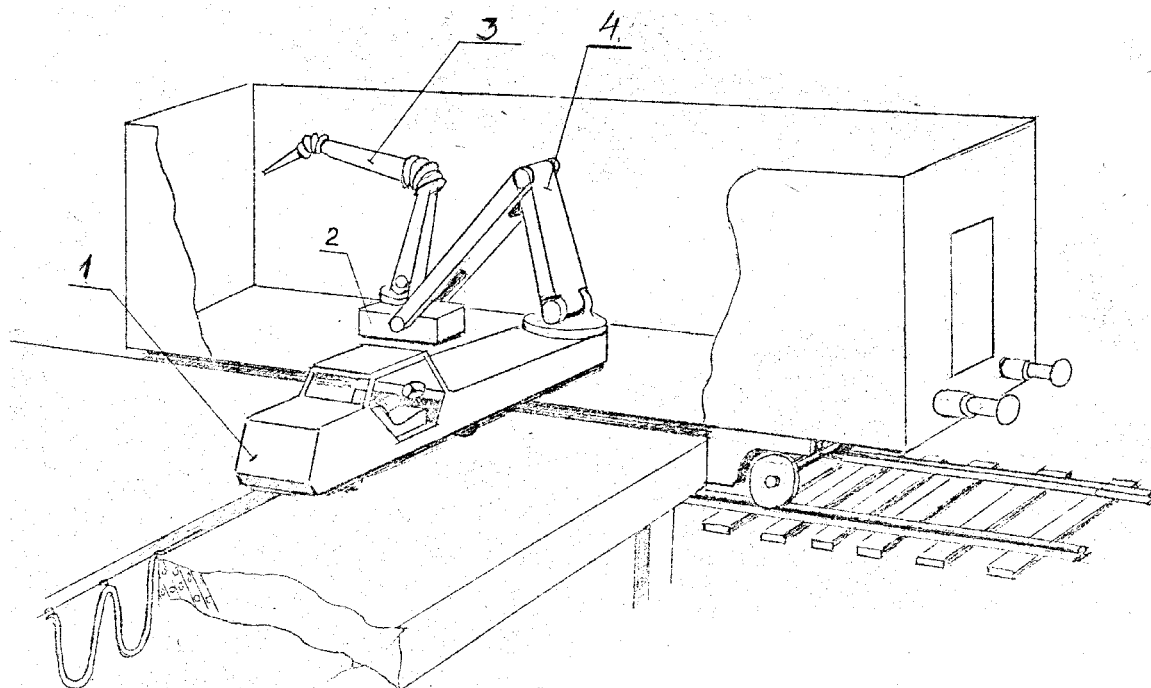


Рис.11.4. Робототехнический комплекс для химической обработки железнодорожных вагонов:

1 – тележка с оператором; 2 – подвижное основание; 3 – промышленный робот; 4 – пантографическая стрела.

Быстро расширяется применение средств робототехники в легкой и пищевой промышленности. На швейных фабриках роботы осуществляют раскрой тканей и обработку деталей одежды. Роботы используют для укладки в ящики и упаковки сахара-рафинада, хлебобулочных изделий, изделий парфюмерии, для раскладки конфет в коробки и т.д.

11.2. Робототехника в непромышленных отраслях.

В нижней части таблицы 11.1 приведены примеры применения робототехники в некоторых непромышленных отраслях. Широкие возможности для комплексной автоматизации и роботизации открывает робототехника в сельском хозяйстве. Основные особенности применения здесь средств робототехники заключаются в большой территориальной протяженности и разобщенности предприятий, сезонности работ, сильной зависимости от погодноклиматических условий, в непосредственном контакте с животными и растительными организмами, имеющими большую разбросанность характеристик и существенные специфические требования к взаимодействию с ними.

Одна из важных задач в полеводстве – создание роботов для вождения

тракторов, комбайнов и других машинно-тракторных агрегатов с высвобождением работников самой массовой здесь профессии – трактористов. Роботы-трактористы должны быть приспособлены для замены тракториста на его стандартном рабочем месте. Это позволит оперативно использовать такие роботы на серийных машинно-тракторных агрегатах, заменять трактористов при выполнении работ особо опасных (внесения ядохимикатов и т.п.) или утомительных (вождение культиваторов и прореживателей строго по рядкам растений и т.п.), осуществлять групповое вождение тракторов и других машин с роботами-трактористами за трактором-лидером, ведомым трактористом. Замена трактористов роботами позволит повысить производительность агрегатов, сменность, ритмичность и качество работы, снизить расход топлива.

Одна из наиболее трудоемких отраслей сельскохозяйственного производства – овощеводство и картофелеводство. Производительность труда на ряде операций здесь ограничена физическими возможностями человека. Например, для укладки рассады в высаживающий аппарат требуются несколько сажальщиц на каждой рассадочной машине, которые должны работать в ритме примерно одна операция в секунду в условиях тряски, пыли, при различной погоде.



Рис.11.5. Робототехнический комплекс для сборки огурцов и помидоров в теплице.

В теплицах применение мобильных роботов позволяет комплексно автоматизировать большой круг работ по подготовке почвы, высеву семян, опрыскиванию химикатами, сбору готовой продукции (рассады, овощей, фруктов), их сортировка и укладка в тару. На рис.11.5 показан образец робота для сбора огурцов и помидоров. Робот передвигается вдоль теплицы по технологическим трубопроводам и имеет манипулятор со специальным плодоотделителем в качестве рабочего органа. Система обнаружения и распознавания состоит из двух сканирующих зеркал и фотоприемника. Распознавание осуществляется путем сравнения с эталоном.

Аналогичные задачи необходимо решать на стационарных пунктах послеуборочной обработки овощей и картофеля, включая их сортировку, отделение примесей и некондиционных экземпляров. На рис. 11.6 представлен образец робототехнического комплекса для погрузки капусты и других

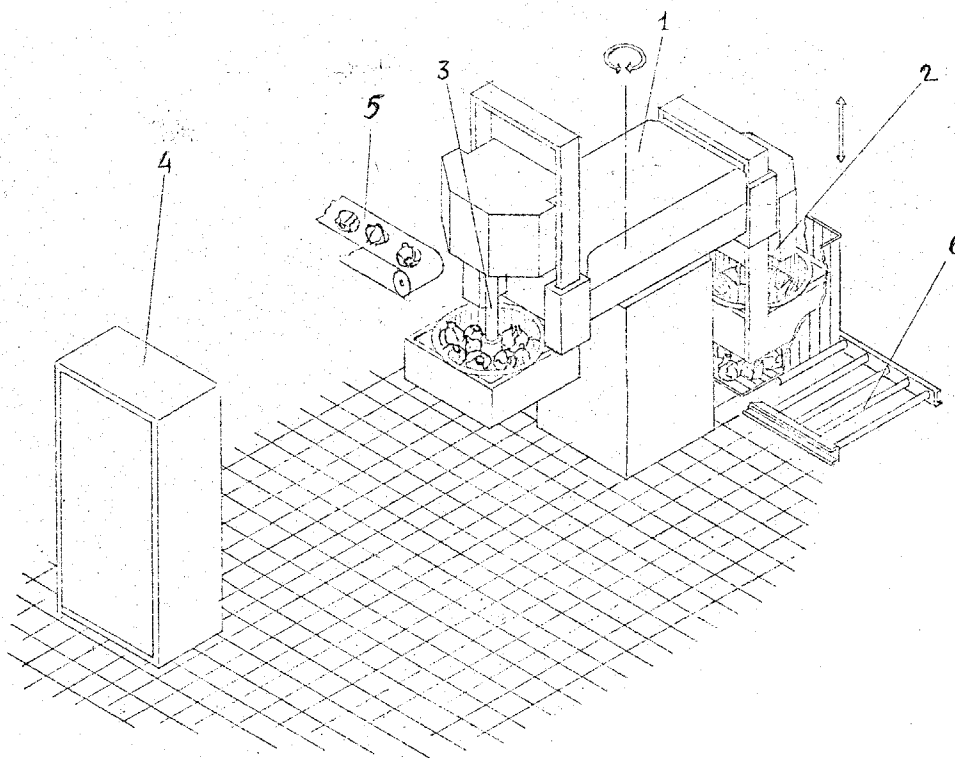


Рис.11.6. Робототехнический комплекс для погрузки капусты:

1 – робот-загрузчик, 2,3 – его манипуляторы. 4 – устройство управления, 5 – транспортер для готовой продукции, 6 – подаватель.

овощей в контейнеры. Комплекс выполняет следующие операции:

- подача пустых контейнеров в зону загрузки;
- загрузка капусты в контейнер;
- перемещение загруженных контейнеров в зону накопления готовой продукции.

Благодаря аккуратному обращению с капустными кочнами полностью исключено их повреждение, которое при других используемых на сегодня способах загрузки достигает 45%.

В животноводстве и птицеводстве требуются, в частности, роботы для выполнения следующих работ:

- основные технологические операции, как дозированная раздача кормов, пойка телят, разбрасывание подстилки, уборка навоза, дезинфекция помещений, взвешивание животных;
- механизированное доение коров;
- дефектоскопия и сортировка яиц в неорганизованных потоках с последующей укладкой в тару.

Большие перспективы имеет робототехника в медицине, в том числе, в хирургии, протезировании, для реабилитации и обслуживания: больных и

инвалидов. На основе достижений робототехники создаются все более совершенные искусственные конечности — протезы рук и ног, имеющие приводы, встроенные микропроцессорные устройства управления и биологические обратные связи. Созданы искусственные скелеты с приводами, так называемые экзоскелетоны (экзо означает «внешний»), для парализованных людей (рис.1.12).

В ряде стран (США, Японии) созданы роботы для обслуживания больных и инвалидов. Такие роботы имеют техническое зрение, систему радиоуправления и управления голосом, устройство передвижения. Ведутся разработки роботов для использования в домашнем хозяйстве – для уборки помещений, работы на кухне, прислуживания за столом, охраны квартиры, в том числе противопожарной, для открывания и закрывания входной двери, обслуживания телефона, радио- и телевизионной аппаратуры и т.п. В США создан робот – ночной сторож («Центурион-1»). Он имеет колесный ход, инфракрасную систему обнаружения людей, устройство для лишения нарушителя подвижности с помощью ультразвука, веселящего или парализующего газа, электрических разрядов.

В целом робототехника в машиностроительных и непромышленных отраслях, как уже отмечено, развивается сегодня, прежде всего на базе опыта, накопленного в машиностроении, и в той же последовательности: изучение потребностей и определение технических требований к роботам, создание и отработка типовых роботизированных технологических ячеек, создание на их основе крупных базовых комплексов и, наконец, тиражирование последних в рамках отраслей.

ГЛАВА 12. ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА.

12.1. Экстремальная робототехника в промышленности.

Одно из назначений робототехники – выполнение различного рода работ в экстремальных внешних условиях либо опасных и вредных для человека, либо вообще полностью исключающих его присутствие. Соответствующий раздел робототехники получил краткое наименование «экстремальная робототехника».

Под экстремальными условиями понимаются как аварийные экстремальные ситуации, включая стихийные бедствия, так и штатные экстремальные ситуации, определяемые технологией производства. По мере интенсификации производства удельный вес и тех и других неуклонно растет. Это относится, в частности, к атомной энергетике и промышленности, химической, металлургической, горнодобывающей отраслям промышленности, подводным работам, освоению космоса, военному делу.

Экстремальные условия определяются, прежде всего внешними условиями работы. Например, для атомной промышленности типичные внешние условия включают:

- радиационное облучение с интенсивностью до 10 рентген в секунду и интегральной дозой до 10^6 рентген;
- температура окружающей среды в отдельных случаях до 300°C ;
- влажность 100 %;
- взрыво- и пожароопасность;
- радиоактивные загрязнения, требующие дезактивации.

Космическая и подводная робототехника характеризуется своими специфическими внешними условиями.

Помимо внешних условий экстремальные ситуации характеризуются и определенным перечнем специфических работ, подлежащих выполнению. К типовым видам работ в экстремальных ситуациях относятся:

- инспекция (разведка, контроль, диагностика);
- манипуляционные работы, как правило со сменным рабочим инструментом (для резки, сварки, очистки поверхностей, нанесения покрытий, для слесарных, сборочно-разборочных и монтажно-демонтажных работ);
- погрузо-разгрузочные и транспортные работы;
- расчистка и очистка помещений и территорий (включая дезактивацию, нейтрализацию и т.п.);
- устройство транспортных путей (проездов, переправ и т.п.);
- строительно-восстановительные работы;
- пожаротушение;
- спасательные работы.

Эти работы в целом включают сотни укрупненных технологических операций. Их примерный перечень применительно к чрезвычайным наземным ситуациям приведен в таблице 12.1. Как следует из этого перечня, основным типом технических систем, требующихся для выполнения этих операций, являются робо-

Таблица 12.1.

Примерный перечень работ и входящих в них технологических операций в экстремальных условиях.

№ п/п	Наименование работ	Наименование операции
1.	Инспекция	1.1. Визуальный контроль, определение физического состояния местности, объектов, оборудования (с земли, с воздуха, в воде)
		1.2. Радиационный контроль на местности, в помещениях
		1.3. Определение состава атмосферы, воды и земляного покрытия
		1.4. Визуальный контроль труднодоступных помещений
		1.5. Снятие визуально показаний контрольно-измерительной аппаратуры
		1.6. Определение положения показывающих и исполнительных органов, вентилях, тумблеров
		1.7. Выявление мест утечек в трубопроводах и оборудовании
2.	Погрузо-разгрузочные и транспортные работы	2.1. Доставка технических и других средств к местам чрезвычайных ситуаций
		2.2. Расчистка проходов, устройство транспортных путей (проездов, переправ и т.п.)
		2.3. Разборка завалов, укрепление или обрушение неустойчивых конструкций
		2.4. Транспортировка материалов, инструмента, емкостей и др. объектов

№ п/п	Наименование работ	Наименование операции
3.	Манипуляционные работы	2.5. Сбор, контейнирование и транспортирование опасных отходов
		2.6. Удаление опасных предметов (взрывных устройств, боеприпасов и т.п.)
		2.7. Создание дамб и заградительных полос
		3.1. Монтаж и демонтаж оборудования и конструкций
		3.2. Сборка и разборка соединений
		3.3. Нанесение покрытий, удаление покрытий
		3.4. Бандажирование течей на трубопроводах, замена прокладок в уплотнительных соединениях
		3.5. Работа с радиоактивными и др. опасными материалами (кантование, укладка, пересыпание, уплотнение и др.)
		3.6. Сбор и удаление рассыпных материалов
		3.7. Установка и снятие дополнительных домкратов, опор и растяжек
		3.8. Сварка и резка труб, металлоконструкций
		3.9. Сверление и фрезерование
		3.10. Бурение
		3.11. Резка металлических, бетонных, железобетонных, деревянных конструкций
		3.12. Дробление обломков строительных конструкций

№ п/п	Наименование работ	Наименование операции
		3.13. Открывание дверей, люков, задвижек
4.	Очистка	4.1. Дезактивация местности, строений, помещений, конструкций и оборудования
		4.2. Очистка площадок
		4.3. Откачка воды из затопленных помещений
5.	Строительно-восстановительные работы	5.1. Организация энергоснабжения
		5.2. Обеспечение средствами связи
		5.3. Восстановление транспортных путей (шоссейных дорог, железнодорожных путей и аэродромов)
6.	Пожаротушение	6.1. Разведка очагов пожара
		6.2. Локализация и тушение пожаров
7.	Спасение людей	7.1. Поиск людей в местах их блокировки
		7.2. Эвакуация людей из мест чрезвычайных ситуаций

тотехнические системы (РТС), благодаря характерной для них многофункциональности и гибкости, позволяющих оперативно выполнять различные технологические операции. Кроме них для выполнения отдельных типовых технологических операций требуется довольно широкая номенклатура и специальных технологических систем, с которыми РТС должны взаимодействовать.

Примеры таких специальных технических систем – это строительные, строительно-дорожные, транспортные, погрузо-разгрузочные машины – экскаваторы, бульдозеры, краны и т.д., но в специальном исполнении для работы в экстремальных внешних условиях.

Наиболее важными характеристиками РТС для рассматриваемой области их применения являются способы управления, перемещения и энергопитания. Сегодня основным способом управления этими техническими системами является комбинация дистанционного автоматизированного управления со стороны человека-оператора и местного автоматического управления. Перемещение к месту работы может обеспечиваться специальными транспортными средствами (краны, вертолеты и т.п.) или собственной системой передвижения в случае мобильных РТС. Энергопитание может быть автономным, кабельным или комбинированным.

Основным типом легких РТС являются инспекционные системы (разведчики), часто дополняемые манипуляторами и другими исполнительными устройствами. Последние предназначаются для расчистки проходов, взятия проб, поиска и взятия отдельных объектов, выполнения различных операций с органами управления основного технологического и другого оборудования и отдельных технологических операций с помощью сменного инструмента. В отличие от инспекционных систем основное назначение тяжелых РТС – выполнение различных технологических операций с помощью сменных рабочих органов, включая бульдозерные отвалы, грейферы, сварочные аппараты и т.п. Эти системы с учетом ограничений, налагаемых их массо-габаритными характеристиками, проходимостью и устойчивостью к внешним воздействиям, применяются в труднодоступных и стесненных помещениях внутри зданий и на открытой территории.

Основная тенденция развития рассматриваемой техники – это создание автономных и телеуправляемых мобильных РТС с требующейся для этого развития сенсорикой, адаптивным и интеллектуальным управлением. Создание таких систем – одно из важнейших направлений развития современной робототехники в целом. Работы в этой области ведутся крупнейшими машиностроительными фирмами, включая Дженерал Электрик, Вестингауз, Мартин Мариетта, Катерпиллер, Дженерал Дайнамикс, Сименс, Мицубиси. Основной формой организации этих работ являются государственные (США, Япония, Франция, Англия) и международные программы и проекты.

Решение проблемы создания РТС для экстремальных условий связано со следующими особенностями:

- сложность (экстремальность) внешних условий, зачастую находящихся на пределе возможностей современной техники;
- сложность, многообразие, нечеткость (изменчивость) подлежащих выполнению функций, что приводит к большой номенклатуре требующихся технических средств, при одновременно, как правило, единичном характере

потребления этой техники;

- межотраслевой характер проблемы, как с точки зрения потребителей, так и производителей требуемых технических средств.

С учетом этих особенностей в основу проектирования средств экстремальной робототехники должны быть положены следующие два принципа. Первый принцип – функциональная и конструктивная унификация технических средств на основе их модульного построения. Второй принцип – это согласованность требований к рассматриваемым техническим средствам и к их техническому окружению, с которым эти средства должны взаимодействовать, из условий максимума общей технико-экономической эффективности.

Первый принцип был рассмотрен в главе 7. Что касается второго принципа, то для объектов внешней среды он означает необходимость учета их взаимодействия с рассматриваемыми робототехническими средствами. Такой учет может повысить эффективность этих средств в 5-7 раз. Основные дополнительные требования, которые должны предъявлять к объектам внешней среды для облегчения функционирования технических средств, предназначенных для работы в экстремальных условиях, направлены на обеспечение выполнения этими средствами следующих действий:

- передвижение, в том числе при наличии разрушений и препятствий;
- выполнение различных манипуляционных операций с органами управления технологическим оборудованием и контроля за ним;
- проведение демонтажных и ремонтных работ с этим оборудованием;
- расчистка и уборка разрушений, очистка от вредных веществ.

В качестве иллюстрации изложенного приведем примеры подобных требований:

- дверные проемы должны обеспечивать проход РТС;
- несущая способность кровель и межэтажных перекрытий должна позволять использование РТС;
- технологическое оборудование, расположение запорно-регулирующей аппаратуры, выключателей и т.п. должны быть доступны для РТС;
- на объектах, где возможно использование РТС, должны быть предусмотрены помещения для их ремонта, подзарядки и т.д.

На рис.12.1, 12.2 и 12.3 показаны примеры упомянутых в параграфе 7.3 модульных роботов, использованных на работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. На место работы эти роботы доставлялись с помощью вертолетов. На рис.12.4 показана типовая схема применения РТС на работах на объектах типа АЭС, доставляемой к месту работы наземным транспортным средством. Транслятор предусмотрен для возможности управления технологическим роботом, находящимся внутри радионепроницаемого здания АЭС.

На рис.12.5 приведен пример более поздней разработки мобильного робота, предназначенного для работы в экстремальных ситуациях в качестве робота развед-

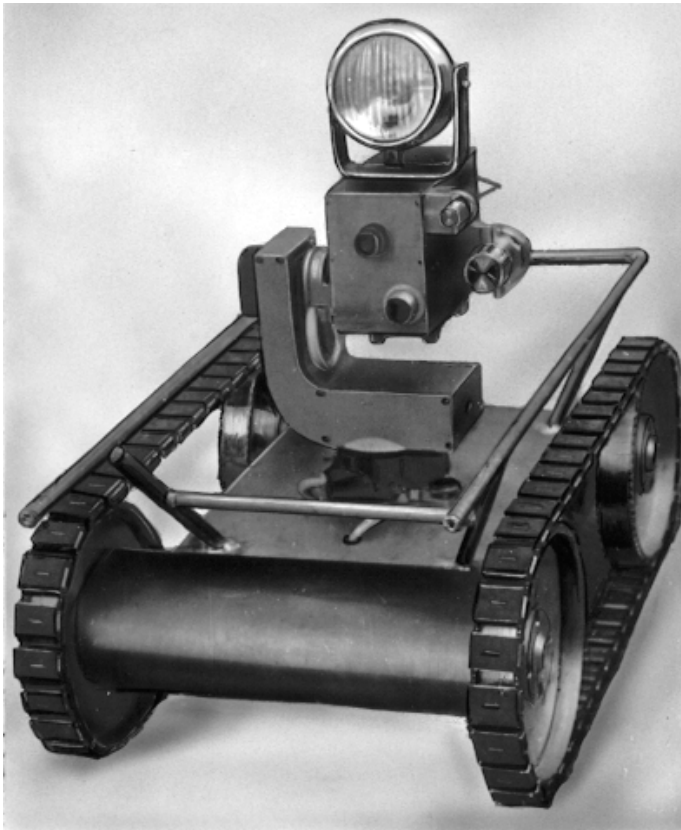


Рис.12.1. Робот-разведчик РР-Г1.

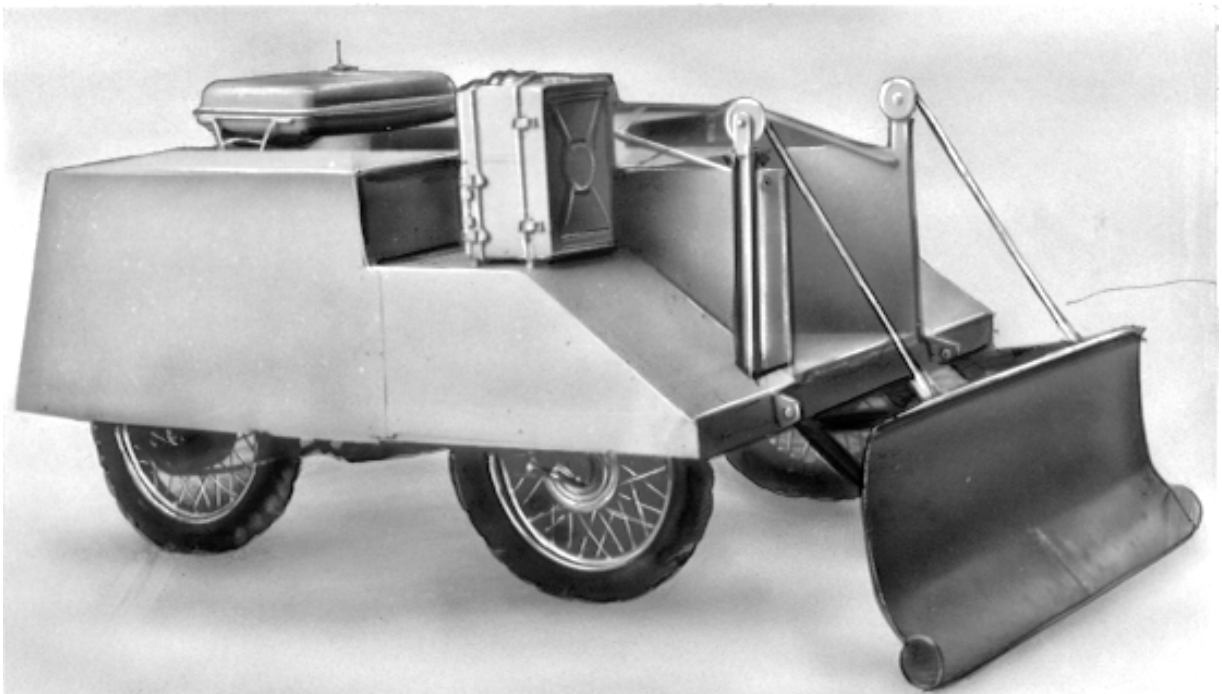


Рис.12.2. Радиоуправляемый тяжелый робот ТР-В1 с двигателем внутреннего сгорания для сборки и транспортировки радиоактивных сыпучих материалов.



Рис. 12.3. Тяжелый робот ТР-Г2. Сверху – подвижные телевизионные камеры и другие сенсорные устройства. Справа – пульт управления.

чика (инспекция), для выполнения различных технологических операций съемным инструментом, ведения охраны и борьбы с террористами. Другие варианты роботов подобного назначения были показаны на рис.3.16, 3.17. Для последнего он комплектуется различными дистанционно управляемыми средствами активной защиты и нападения. Робот снабжен пятиступенным шарнирным манипулятором грузоподъемностью 10 кг и подвижной двухступенной передающей телекамерой. Энергопитание –комбинированное – автономное от аккумуляторов и по кабелю длиной 300 метров. Кабель размещен на барабане – подборщике с вращающимся токосъемником. Управление дистанционное супервизорное и автономное программное и адаптивное, включая автоматический обход и преодоление препятствий.

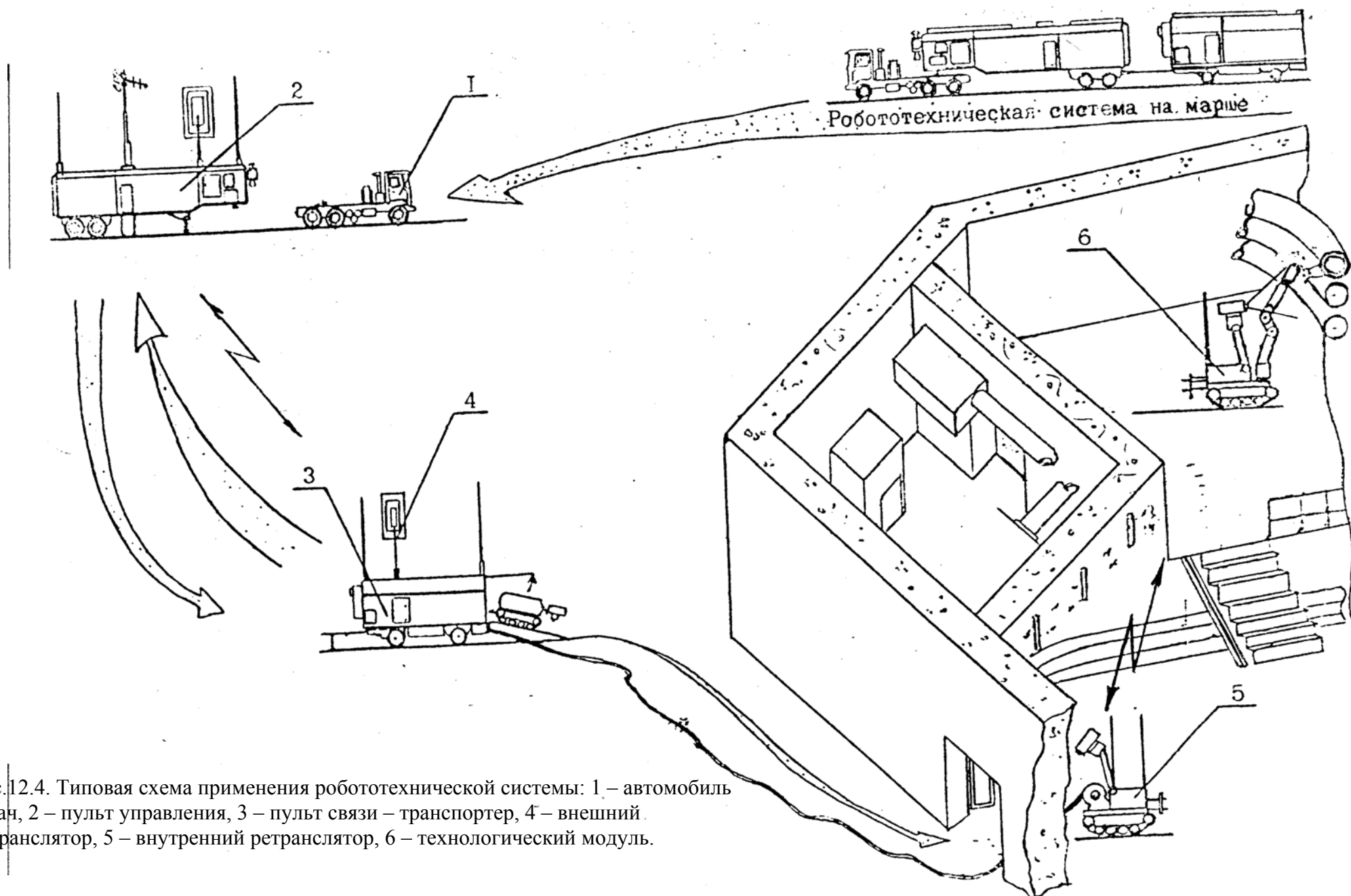


Рис.12.4. Типовая схема применения робототехнической системы: 1 – автомобиль тягач, 2 – пульт управления, 3 – пульт связи – транспортер, 4 – внешний ретранслятор, 5 – внутренний ретранслятор, 6 – технологический модуль.

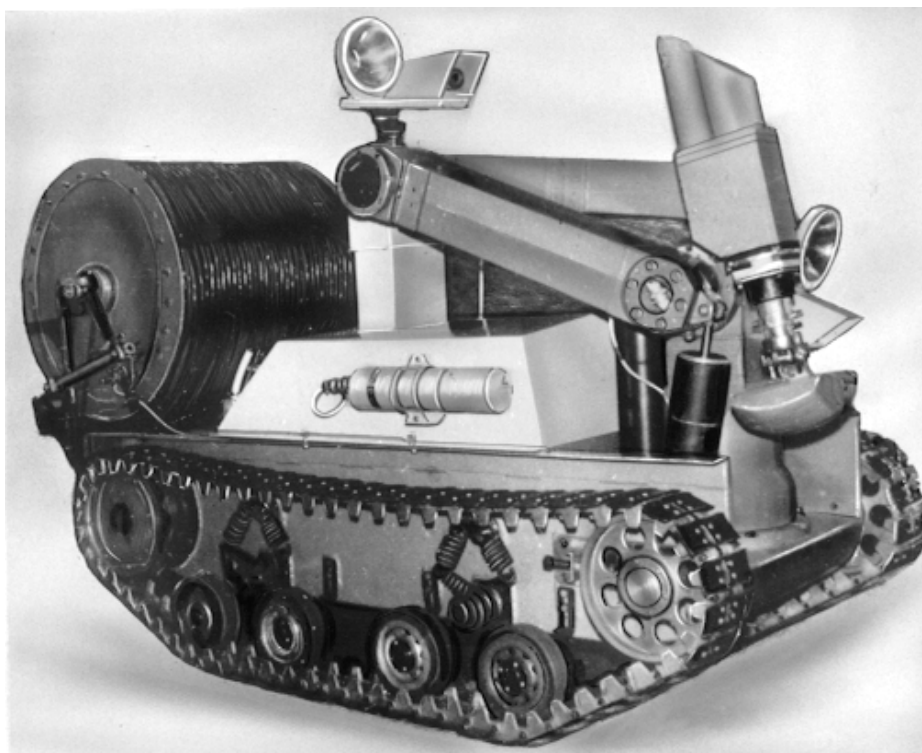


Рис.12.5. Робот «Малыш» (ЦНИИ РТК).

12.2. Космическая робототехника.

Космическая робототехника – новое перспективное направление развития космонавтики в том числе для работ в дальнем космосе, на Луне и на околоземных орбитах. Возникнув на стыке пилотируемой и беспилотной космонавтики она быстро сформировалось в самостоятельное направление, во многом определяющее перспективы развития космонавтики в целом. Робототехника расширяет функциональные возможности беспилотных космических аппаратов, доводя их практически до уровня современных пилотируемых аппаратов. В пилотируемой космонавтике робототехника позволяет в значительной степени освободить космонавтов от тяжелых и опасных работ особенно в открытом космосе и в условиях интенсивных ионизирующих излучений и превратить обитаемые космические аппараты в периодически посещаемые. В целом космическая робототехника открывает новые горизонты не только для развития традиционных средств космонавтики, но и для создания принципиально новых типов космических аппаратов, совмещающих достоинства пилотируемых и беспилотных аппаратов.

Космическая робототехника уже сегодня позволяет резко повысить эффективность космических систем, снизить расходы на их эксплуатацию, существенно расширить их функциональные возможности, на порядок увеличить ресурс и надежность, повысить безопасность космонавтов.

Роботы в космосе имеют следующие области применения:

- работа в открытом космосе (свободно перемещающиеся роботы для сборочных, погрузо-разгрузочных и спасательных работ, захвата и инспекции неизвестных объектов и т.д.);

- работа на поверхности планет и других космических тел;
- работа внутри и снаружи космических кораблей (их обслуживание, регламентные и ремонтные работы).

Соответственно можно выделить три основных типа космических роботов: свободнолетающие роботы, напланетные роботы, роботы космических кораблей (обслуживающие роботы)

Космические роботы и управляемые оператором неавтоматические манипуляторы имеют, как правило, электромеханические приводы. При этом в отличие от роботов, применяемых в обычных земных условиях, мощность их приводов на несколько порядков меньше при той же массе объектов манипулирования. Однако при этом неизбежно пропорционально снижается быстродействие робота из-за соответствующего уменьшения ускорений при перемещении объектов, обладающих определенной инерцией. Но этой ценой достигается существенное снижение массы и энергопотребления роботов, что, как известно, особенно важно для космической техники.

На рис.3.28 был показан пример свободнолетающего космического робота. На рис.12.5 и 12.6 показана система бортовых манипуляторов многоразового космического корабля «Буран» [2]. Манипуляторы шарнирные с шестью степенями подвижности имеют электрические приводы. Длина манипулятора - около 15,3 м, усилие в захватном устройстве — примерно 5 кгс. Наибольшая масса объекта манипулирования – 3 т. Линейная скорость с грузом – до 0,03 м/с, без груза – 0,6 м/с. Погрешность позиционирования – 5 мм. В исходном положении манипуляторы крепятся вдоль корабля с помощью ложементов.

Захватные устройства манипуляторов – сменные. На кисти каждого манипулятора укреплен телевизионная камера. Кроме того, на корпусе корабля размещено несколько телевизионных камер и осветителей, в том числе четыре подвижные камеры находятся по краям грузового отсека, откуда с помощью манипуляторов берутся и куда помещаются транспортируемые кораблем грузы.

Устройство управления манипуляторов с пультом управления размещено в кабине корабля. Система управления манипуляторами обеспечивает ручной, полуавтоматический и автоматический режимы управления. Для ручного управления оператор использует две задающие рукоятки, каждая из которых имеет три степени подвижности. Одна (левая) рукоятка служит для управления перемещением рабочего органа манипулятора, а другая (правая) – для его ориентации.

В полуавтоматическом режиме осуществляется интерактивное управление, при котором оператор использует готовые управляющие подпрограммы, оперативно выбирая и последовательно вводя их в действие в ходе выполнения конкретного задания. В полностью автоматическом режиме управление производится без участия оператора, за которым, однако, сохраняется функция контроля с возможностью вмешательства в любой момент в ход выполнения программы.

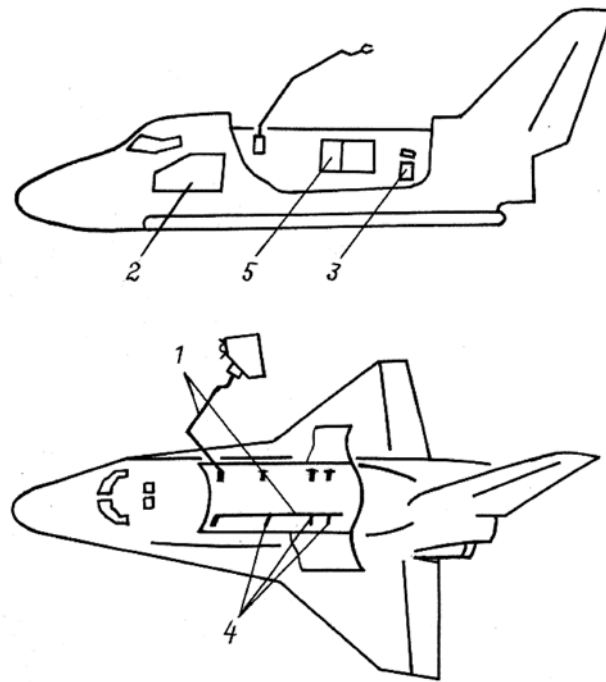


Рис.12.6. Размещение системы манипуляторов на многоразовом космическом корабле «Буран»:

1 – манипуляторы; 2 – устройство управления; 3 – подвижные передающие телекамеры; 4 – ложементы; 5 – полезный груз.

Основные функции системы манипуляторов космического корабля определяются назначением последнего для транспортировки грузов в своем грузовом отсеке с Земли на околоземную орбиту и обратно. Соответственно, с помощью манипуляторов должны осуществляться следующие операции:

- выемка грузов из грузового отсека и перенос их в сторону от корабля;
- манипулирование этими грузами с целью их пристыковывания к другим объектам или развертывания (раскрытия) для самостоятельной работы на орбите (ИСЗ, антенные системы, солнечные батареи и т.п.); захват свободнолетающих объектов и укладка их в грузовой отсек;
- инспекция космических объектов, находящихся на околоземной орбите;
- сборочно-монтажные и ремонтные работы с объектами на околоземной орбите.

На рис.3.29 был показан пример космического робота для наружного обслуживания космических кораблей. На рис.3.30, 3.31 и 3.32 представлены конструкции напланетных мобильных роботов.

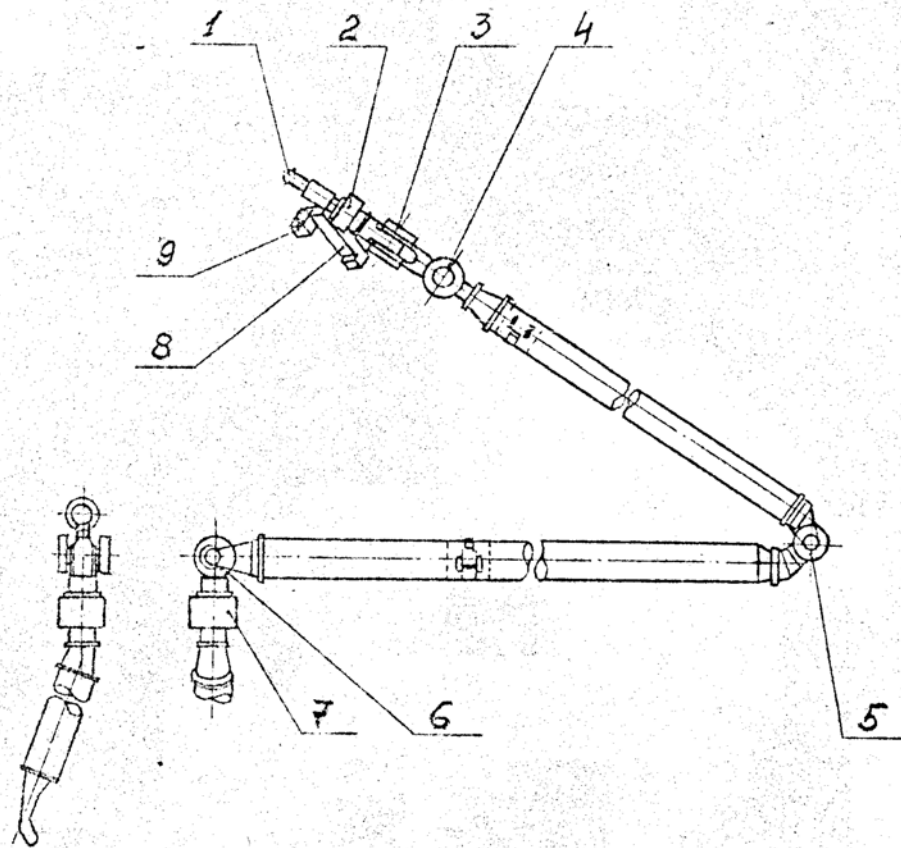


Рис.12.7. Манипулятор космического корабля «Буран» (разработка ЦНИИ РТК):
1-6 – шарниры; 7 – схват; 8 – осветитель; 9 – телевизионная камера

12.3. Подводные роботы.

Исследование и освоение глубин океана и морского дна – еще одна важная сфера экстремальной робототехники, перспективность которой, аналогично космосу, связана, прежде всего, с тяжелыми и опасными для человека внешними условиями. Следствием последних является низкая эффективность работы водолазов. Назначение подводных роботов аналогично назначению роботов космических.

По способу передвижения подводные роботы делятся на плавающие и передвигающиеся по грунту. В зависимости от характера связи с кораблем различают подводные роботы автономные и привязные (связанные с кораблем тросом-кабелем). В последнем случае такой робот состоит из двух частей — надводной и подводной. При этом по соединяющему эти части тросу-кабелю осуществляется энергоснабжение подводной части и двусторонняя информационная

связь. С целью максимально облегчить подводную часть все функции по оперативной обработке информации, необходимой для деятельности робота, по возможности, поручаются его надводной части (насколько это допускает пропускная способность соединяющего кабеля).

Подводные роботы состоят в общем случае из тех же функциональных частей, что и космические роботы: движители, манипуляторы, системы управления ими, навигационная система и система связи. Задача управления движением подводного робота осложняется ограниченными возможностями подводного телевидения, что повышает роль локационных средств (главным образом ультразвуковых).

В настоящее время в мире созданы более 100 различного назначения подводных аппаратов, снабженных манипуляторами. В подавляющем большинстве используются манипуляторы с ручным и автоматизированным управлением непосредственно с борта аппарата, если он обитаем, или дистанционно с надводного корабля. В последнем случае для сокращения объема информации, которой обменивается оператор с местным устройством управления манипулятора, основными способами управления являются супервизорный и интерактивный.

На рис.1.7 был показан один из первых отечественных исследовательских подводных роботов «Мантa». Робот снабжен двумя гидравлическими манипуляторами грузоподъемностью 50 кг с семью степенями подвижности. На рис.12.8 приведена структурная схема системы управления роботов этого типа. В состав схемы входят пульт управления с устройством целеуказания на телеэкране и бортовой вычислитель на базе мини-ЭВМ. Бортовой вычислитель обеспечивает автономное выполнение роботом следующих директив оператора в супервизорном режиме управления:

- взять указанный оператором на телеэкране объект;
- перенести этот объект ближе к телекамере, положить в бункер или в любую заданную на телеэкране точку пространства;
- искать объект вслепую (на ощупь) в заданном квадрате (в случае видимости из-за замутнения воды и других причин).

В этом режиме обеспечивается автоматический обход манипулятором встречающихся препятствий.

Примером подводных роботов, передвигающихся по дну, являются роботы на гусеничном ходу, используемые для работ по подъему затонувших кораблей. На рис.12.9 показан такой подводный робот РАМ с манипулятором длиной 4 м. Управление роботом и его электропитание осуществляются с корабля-матки по кабелю длиной до 8 км.

Подводные роботы применяют также для очистки и окраски подводной части кораблей. Такой робот обычно удерживается на обшивке корабля электромагнитами.

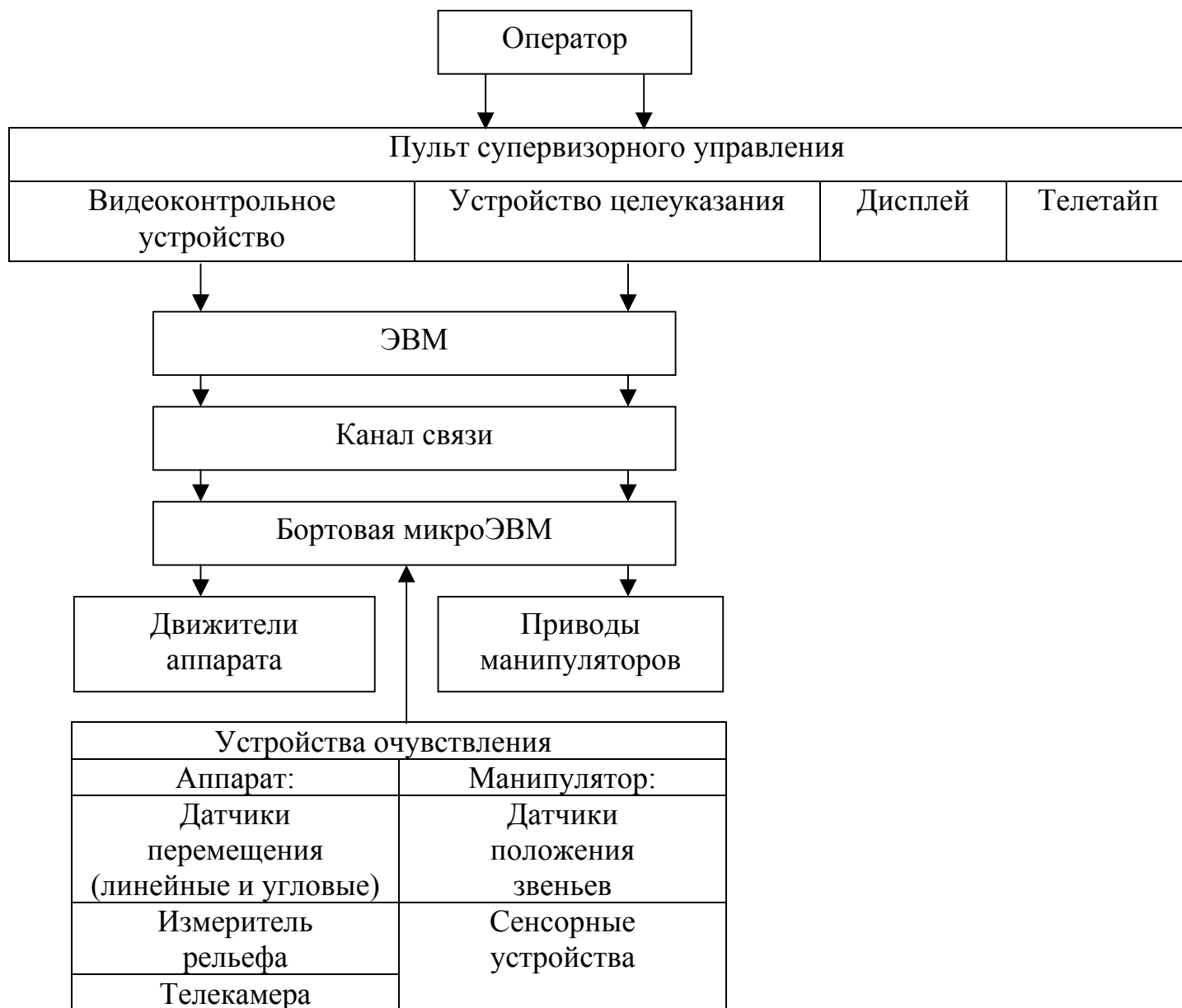


Рис. 12.8. Структурная схема системы управления подводного робота типа «Мантa».

12.4. Военная робототехника.

Важным разделом экстремальной робототехники является робототехника для вооруженных сил. В нее входят следующие по назначению типы средств робототехники:

- боевые,
- боевого обеспечения,
- специально-технического обеспечения,
- тылового обеспечения.

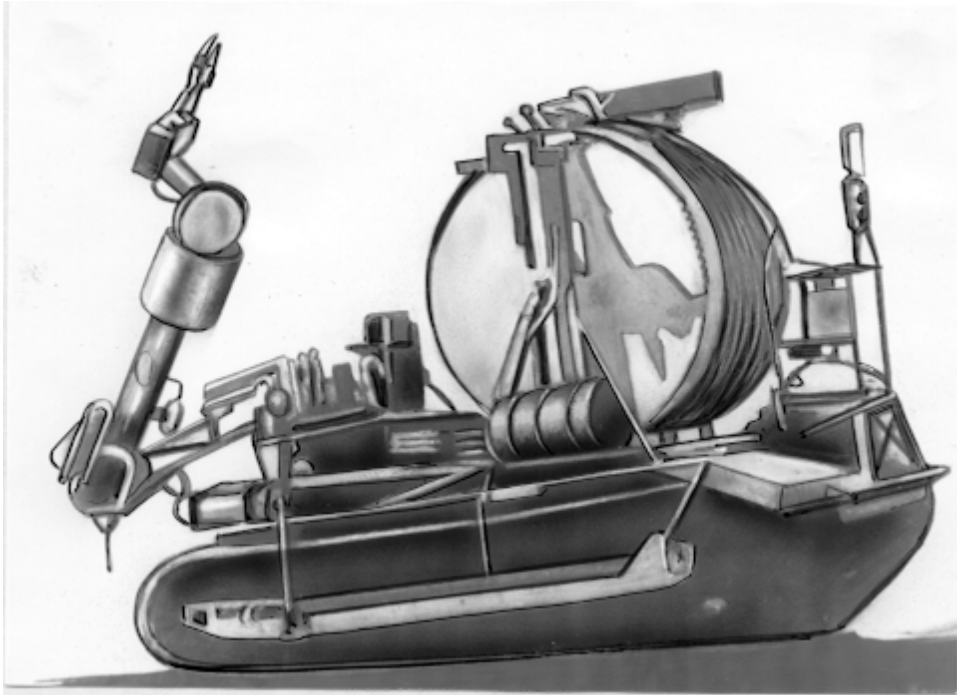


Рис.12.9. Подвижный робот РАМ (США) на гусеничном ходу для передвижения по грунту.

Основными специфическими видами средств робототехники для вооруженных сил являются:

- мобильные роботы наземного, воздушного и водного базирования,
- роботы-водители и пилоты для различных видов боевых и транспортных машин,
- роботы и другие средства робототехники для обслуживания вооружений и военной техники.

Основными факторами эффективности применения робототехники в вооруженных силах являются:

- применяемость в экстремальных условиях, не допускающих участие людского персонала,
- повышение быстродействия, точности и стабильности основных характеристик вооружения и военной техники,
- исключение ошибок операторов (от усталости, влияния неблагоприятных факторов внешней среды, стрессовых ситуаций, перерывов в тренировках и т.п.),
- сокращение численности личного состава и выведения его из зон опасных для жизни и здоровья,
- снижение потерь личного состава,
- упрощение собственно вооружения и военной техники,
- меньшая ее стоимость.

Важным условием повышения эффективности военной робототехники является комплексная унификация номенклатуры требуемых средств робототехники и их основных комплектующих систем.

Хотя на вооружении армий в мире находятся десятки образцов военных робототехнических систем, широкому применению робототехники в вооруженных силах препятствуют следующие недостатки современной робототехники с точки зрения требований вооруженных сил:

1. Исполнительные системы и прежде всего манипуляционные имеют неудовлетворительные массо-габаритные параметры, во много раз уступающие аналогичным параметрам человека.
2. Неудовлетворительные интеллектуальные возможности информационных и управляющих систем.

Развитие интеллектуальной робототехники позволит повысить эффективность вооружений и военной техники не менее чем в 2-3 раза.

Сегодня первоочередными направлениями применения робототехники в вооруженных силах являются:

- Создание первого поколения мобильных роботов-разведчиков, саперов, охранников и т.п. легких роботов.
- Создание стационарных роботов для обслуживания вооружения и военной техники.
- Применение средств робототехники для обеспечения безэкипажного функционирования традиционных подвижных средств военной техники.

На первом этапе этой работы осуществляется переход к их дистанционному управлению с последующим наращиванием автоматически выполняемых операций.

ГЛАВА 13. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РОБОТОТЕХНИКИ

13.1. Социально-экономическая эффективность применения средств робототехники.

Рассмотрение вопроса об эффективности и, соответственно, перспективности какого-либо нового научно-технического направления или нового вида техники необходимо начинать с сопоставления его с основными целями общества, а затем уже переходить к оценке его чисто экономической эффективности. Действительно, могут быть такие научно-технические идеи, которые, давая определенное и даже очень большое повышение эффективности конкретного производства, принципиально несовместимы с общей целью и принципами нашего общественного производства или в чем-то противоречат им. Например, применение конвейера и полуавтоматического оборудования, повышая производительность, резко ослабляет творческий характер труда.

Организация производства на конвейере ведет к такой дифференциации операций, при которой работающие не только выполняют однообразные, монотонные движения фактически без необходимости приложения каких-либо интеллектуальных усилий. Тем не менее дифференциация и упрощение трудовых операций имеют важное положительное следствие: именно они создают предпосылки перехода к полностью автоматическому производству в том числе с использованием промышленных роботов, что позволяет вообще исключить труд человека при их выполнении.

Итак, рост производительности труда и, соответственно, расширение объема производимого совокупного продукта в целом ряде случаев ведут к объединению содержания труда и соответственно снижению его престижности. Выход из указанного противоречия заключается в переходе к принципиально новым техническим решениям, позволяющим освободить человека от однообразных, физически тяжелых и лишенных интеллектуального содержания операций. Дальнейший рост производства на основе использования достижений современной науки и техники связан еще с другими ограничениями, которые вызваны ограниченными возможностями человека. Они касаются увеличения интенсивности технологических процессов, возрастания числа процессов, протекающих в агрессивной и вредной для человека среде (химия, атомная энергетика и др.). Чтобы снять все указанные ограничения, опять-таки, необходимо передать часть трудовых операций новым техническим средствам. Не менее существенные ограничения возникают и в отношении управления качеством производимой продукции. Практика показывает, что в производстве с преобладанием ручного труда практически невозможно гарантировать стабильно высокое качество продукции.

Робототехника относится именно к тем научно-техническим направлениям, с помощью которых могут быть преодолены указанные объективные противоречия в

развитии современного производства между растущей специализацией трудовых операций и необходимостью усиления содержательности труда. Она освобождая человека от тяжелого и опасного труда с другой стороны освобождает производство от непосредственного участия в нем людей и тем самым снимает связанные с ними ограничения на дальнейшую интенсификацию производственных комплексов и внедрения новых технологических процессов принципиально не допускающих присутствие людей.

Рассмотрим конкретные особенности оценки эффективности применения средств робототехники в производстве. Анализ результатов использования роботов в различных отраслях промышленности и типах производств подтверждает, что они могут быть эффективно применимы в условиях как мелкосерийного, так и массового производства. В массовом и крупносерийном производстве с быстрой сменой объекта производства (автомобилестроение, радиопромышленность, производство электробытовых приборов и т.п.) перспективным является использование роботов для обслуживания агрегатных станков и переналаживаемых автоматических линий на операциях загрузки-выгрузки технологического оборудования на начальных и конечных позициях линий, для внутрицехового транспортирования. Применение роботов позволяет осуществлять комплектацию и запуск таких линий в более короткие сроки. Роботы можно эффективно применять, в частности, для замены специального вспомогательного оборудования на отдельных операциях в автоматических технологических комплексах в период модернизации или замены этого оборудования. В этом случае отпадает необходимость останавливать комплекс на длительный период, а затраты на переоснащение роботов оказываются значительно ниже потерь вследствие простоя комплекса в течение всего периода модернизации или замены специализированного вспомогательного оборудования на конкретных операциях. В серийном и мелкосерийном производстве наиболее перспективным является применение роботов в сочетании с оборудованием с ЧПУ. Это позволяет полностью решить на базе групповой организации производства проблему изготовления изделий малыми партиями.

В любой области применения роботов их необходимо рассматривать как компонент всего производственного комплекса, включающего другое основное и вспомогательное технологическое оборудование, объединенное общей системой управления. Использование роботов оказывает существенное влияние на такие важные экономические характеристики, как производительность труда, объем производства продукции, себестоимость, рентабельность, фондоотдача.

Рост производительности труда обеспечивается, с одной стороны, увеличением объема производства, а с другой сокращением численности производственных рабочих. Рост объема производства происходит вследствие улучшения использования оборудования, повышения его производительности и снижения брака. При этом улучшение использования оборудования достигается за счет как факторов экстенсивного, так и интенсивного характера. Факторы интенсивного характера предусматривают улучшение использования оборудования в единицу времени вследствие сокращения трудоемкости вспомогательных операций (загрузки-выгрузки

деталей, транспортировки и т.п.). Повышение экстенсивного использования оборудования обусловлено увеличением времени его работы. В условиях роботизации это обеспечивается сокращением различного рода потерь рабочего времени и повышением сменности работы оборудования

Снижение брака продукции является следствием устранения влияния таких индивидуальных и субъективных факторов, как квалификация, опыт, утомляемость рабочего, его состояние.

В условиях роботизации происходит абсолютное и относительное сокращение численности производственных рабочих. Под относительным сокращением численности понимается возможность повысить объем производства при той же численности производственных рабочих благодаря увеличению годового эффективного фонда времени работы оборудования в результате использования роботов.

Увеличение объема производства в условиях роботизации приводит к снижению себестоимости продукции в результате уменьшения доли условно-постоянных накладных расходов на единицу продукции, сокращения непроизводительных расходов, таких, как оплата сверхурочных работ, оплата простоев рабочих, снижение потерь от брака, а также удельных затрат по содержанию и эксплуатации оборудования. Снижение себестоимости продукции достигается за счет экономии заработной платы рабочих, высвобождаемых абсолютно и относительно. Эта составляющая является одной из самых очевидных и значительной при оценке экономической эффективности ПР. Экономия на заработной плате образуется также вследствие опережающего темпа повышения производительности труда по сравнению с темпом роста заработной платы.

Применение роботов позволяет улучшить использование производственных фондов, которое характеризуется показателями рентабельности и фондоотдачи. При этом рентабельность увеличивается вследствие возрастания общей суммы прибыли, получаемой в результате роста объема производства.

Для оценки экономического эффекта от применения роботов в конкретном технологическом комплексе необходимо провести комплексный технико-экономический анализ с учетом технических параметров всех агрегатов, входящих в комплекс, основных характеристик и особенностей технологического процесса, частных организационных и технико-экономических показателей, а также социальной значимости роботизации данного процесса. В целом объектами такого анализа должны послужить:

- оборудование, на котором выполняются операции технологического процесса;
- роботы;
- вспомогательное оборудование, которое требуется для эксплуатации комплекса;
- транспортно-складские системы для материалов, заготовок, готовых изделий, инструмента, оснастки, отходов производства;
- запас материалов, заготовок, представляющих различного вида заделы, инструмента, технологической оснастки;

- постоянный гарантийный ремонтный запас деталей и элементов требуемый для нормальной эксплуатации комплекса;
- устройства обеспечения других необходимых условий нормальной эксплуатации комплекса (вентиляционные, защитные и др.);
- система управления комплексом в целом;
- производственные площади, занимаемые комплексом;
- прочие элементы, которые выявляют при изучении материального состава комплекса как объекта экономического анализа.

Все расчеты экономического характера для оценки целесообразности и эффективности применения роботов следует выполнять с учетом этого полного состава объекта исследования. Кроме того, одним из важных факторов, который следует учитывать при экономическом обосновании роботизации, является надежность. Недостаточная надежность технических устройств комплекса соответственно снижает эффективность роботизации производства. В связи с этим возникает необходимость в исследовании экономической эффективности различных мероприятий по повышению надежности и выявлению оптимальной в этом смысле структуры роботизируемого комплекса. Например, чем универсальнее робот, тем он сложнее и менее надежен. В то же время использование в составе роботизируемого технологического комплекса более простых и дешевых, но менее универсальных роботов приводит к необходимости включать в состав комплекса дополнительное специальное оборудование и приспособления, компенсирующие снижение функциональных возможностей роботов. Проектирование и изготовление такого специального оборудования связаны с дополнительными затратами, а его размещение приводит, как правило, к увеличению производственных площадей, занимаемых комплексом.

Каждому сочетанию технических средств технологического комплекса в свою очередь соответствует вполне определенный состав системы управления. Различными будут для рассматриваемых вариантов как капитальные, так и эксплуатационные затраты на весь срок службы комплекса. В связи с этим возникает задача определения такого состава технических устройств, входящих в комплекс, и соответствующего программного обеспечения, который дает минимум затрат на его проектирование, изготовление и эксплуатацию за весь срок службы комплекса.

Социальные аспекты роботизации, связанные с улучшением условий труда, ликвидацией тяжелых, опасных и вредных для здоровья видов работ, с повышением общей культуры производства, должны быть количественно измерены и учтены в расчетах экономической эффективности применения роботов. Например, внедрение роботов уменьшает текучесть кадров, что выражается в конкретной экономии расходов на прием-увольнение, учебу и т.п.

Необходимо учитывать и экономический эффект, связанный с тем, что роботизация позволяет уменьшить количество профессиональных заболеваний, снизить травматизм, сократить затраты на лечение и мероприятия по охране труда и технике безопасности. Учет социальных факторов в экономических расчетах позволяет более точно определять области эффективного применения роботов.

Обычно экономическую эффективность создания и применения роботов и основанных на них технологических комплексов оценивают по годовому экономическому эффекту, который представляет собой экономию приведенных годовых затрат, получаемую в результате использования роботов в составе определенного технологического комплекса или комплекса в целом. Эту экономию определяют из сравнения предлагаемого (нового) варианта с базовым, в качестве которого принимается лучший аналог, который может быть приобретен или воспроизведен на основе лицензии. Затем по этой величине определяют срок окупаемости затрат.

13.2. Техника безопасности в робототехнике.

В проблеме безопасности труда при использовании роботов можно выделить следующие два аспекта:

- применение роботов как средства повышения безопасности производства;
- обеспечение безопасности при эксплуатации самих роботов.

Первый аспект соответствует одному из первоочередных назначений роботов – высвобождение людей от травмоопасного, вредного и тяжелого физического труда. При планировании внедрения роботов в производство такого рода технологические операции получают приоритет, и на таких операциях роботы внедряют наиболее успешно. В машиностроении к этим операциям относятся, в частности, обслуживание кузнечно-прессового оборудования и металлорежущих станков (особенно при обработке тяжелых заготовок), оборудования в гальваническом и литейном производствах, в производстве изделий из пластмасс, а также такие основные технологические операции, как сварка, окраска, погрузочно-разгрузочные и транспортные работы. В немашиностроительных отраслях такими операциями являются установка крепи в забое, обслуживание отбойных и бурильных агрегатов, в горнодобывающей и угольной промышленности, обслуживание оборудования и фасовка продукции во вредной для здоровья атмосфере в химической и нефтехимической промышленности, различные манипуляционные операции в металлургической промышленности, атомной энергетике и других производствах в экстремальных условиях (вредные излучения, взрывоопасность, предельные температуры, загазованность, запыленность и т.п.). В мире накоплен определенный положительный опыт повышения безопасности труда с помощью роботов прежде всего в машиностроении (на штамповке, в гальваническом производстве, в производстве пластмассовых изделий, на термообработке, погрузо-разгрузочных и транспортно-складских операциях).

Второй названный выше аспект робототехники с точки зрения безопасности труда – это обеспечение безопасной работы самих роботов, которые при определенных условиях могут представлять собой источник повышенной опасности для человека, а также для работающего с ними оборудования. Опыт свидетельствует о возможности несчастных случаев, в том числе со смертельным исходом, при работе с роботами. В

Японии, где применение роботов достигло наибольших размеров, по данным статистики почти каждый третий рабочий так или иначе сталкивается с опасностью, создаваемой роботами. В основном такая опасность вызывается следующими причинами:

- неисправность собственно робота из-за нарушения его механической прочности или отказов в системе управления;
- ошибки программирования и настройки, вследствие чего при эксплуатации возможны непредвиденные движения с выходом из огражденной рабочей зоны или механические повреждения робота;
- потери объекта манипулирования и другие аварийные ситуации из-за превышения допустимых динамических режимов и перегрузок;
- нарушение персоналом условий эксплуатации робота (вход в рабочую зону, особенно при отключенных средствах безопасности, отсутствие личных средств безопасности, включая каску, превышение допустимой грузоподъемности, несоответствие исполнения робота реальным условиям эксплуатации, другие нарушения технических условий на робот или технологический комплекс, в составе которого он работает);
- неправильная работа средств безопасности, которыми оборудованы робот и его рабочая зона (устройства блокировки, сигнализации, защитные ограждения и т.п.).

Статистика показывает, что большая часть несчастных случаев с обслуживающим персоналом связана с нахождением в рабочей зоне при программировании, настройке и ремонте роботов. Несчастные случаи во время работы робота в автоматическом режиме составляют всего единицы процентов.

Мероприятия по обеспечению безопасности роботизированных производств должны быть предусмотрены на всех этапах их создания и эксплуатации, начиная с формулирования технических требований, и регламентированы соответствующими нормативно-техническими документами, а также специальными документами по технике безопасности в робототехнике. Общие требования по безопасности при проектировании и эксплуатации роботов стандартизированы. В этих требованиях, в частности регламентированы следующие позиции:

Если при программировании и наладке робота требуется пребывание персонала в его рабочей зоне, то в этих режимах должно быть предусмотрено снижение скорости его исполнительных устройств до 0,3 м/с.

Пульт управления робота должен выдавать информацию о режиме его работы, срабатывании блокировок и работающего с ним технологического оборудования, наличии сбоев в работе, начале движения робота.

Регламентированы также требования к предохранительным, блокирующим и защитным устройствам, которыми должны быть оснащены роботы.

Применительно к организации технологических комплексов регламентированы:

- необходимость комплексной автоматизации всех основных и вспомогательных операций с допустимостью сохранения за оператором в основном только некоторых функций управления и контроля;

- наличие блокирующих устройств и ограждений, требования к ним;
- планировка комплекса с учетом размеров рабочих зон роботов;
- требования к организации рабочих мест операторов, к пультам управления и расположенным в других местах дополнительным органам аварийного отключения.

Применительно к эксплуатации роботов разработаны:

- требования, предъявляемые к обслуживающему персоналу, и перечень их обязанностей;
- инструкции по охране труда.

В обязанности обслуживающего персонала, в частности, входят проверка оборудования и блокировочных устройств перед началом работы, обязательная регистрация в специальном журнале всех неполадок и аварийных ситуаций.

ГЛАВА 14. РОБОТОТЕХНИКА ЗАВТРА.

Современная робототехника как новое научно-техническое направление идейно сформировалась через несколько лет после провозглашения Н.Винером концепции кибернетики под ее влиянием.

Робот как нового типа машина-автомат ворвался в сложившуюся классификацию машин как что-то инородное: он может быть и технологической машиной и транспортной и информационной, а может и вообще выпадать из этой категории, выполняя функции технологического устройства, приспособления или средства автоматизации. Правда, и в последнем робот тоже сразу же стал «возмутителем спокойствия» и породил новый термин «роботизация», который никак не вписывается в понятие «автоматизация». До этого были известны манипуляторы, управляемые человеком, однопрограммные автоматические манипуляторы-автооператоры, механические руки. Но, вот, появились манипуляторы с ЧПУ, их называли роботами и родилось новое научно-техническое направление – робототехника.

С самого начала в развитии робототехники определялись две, правда, сперва довольно слабо связанные цели – прикладная и фундаментальная. Прикладная цель была объективно обусловлена развитием современного производства, а именно переходом к комплексной гибкой автоматизации, к гибким автоматизированным производствам. Здесь одной из первоочередных задач стало создание выявленного в ходе этих работ недостающего звена в перечне компонентов таких производств, которое должно заменять человека, выполняющего различные манипуляционные операции – основные технологические и вспомогательные. Из этой задачи сразу же выделилась как отдельная задача высвобождения людей от опасных и вредных работ. Затем по мере развития робототехники, естественно, возникла задача создания средств робототехники, предназначенных для работ, которые принципиально не могут выполняться с помощью или даже просто в присутствии людей (дальний космос, глубины океана, новые интенсивные безлюдные технологии и т.д.). Возникли экстремальная робототехника, медицинская микроробототехника, биоробототехника, шагающие машины и другие специальные разделы робототехники. Появилось роботостроение с международной кооперацией и специализацией. Постепенно сложились определенные принципы построения, проектирования и применения средств робототехники и основанных на них технических систем. Определились основные области применения и перспективы их расширения, основанные на реальных технических и экономических характеристиках этой техники.

Принципиальный вопрос – по какому пути идти робототехнике – в сторону повышения универсальности роботов или, наоборот, их специализации разрешился признанием в качестве основного модульного принципа их построения. Этот принцип позволяет промышленности оперативно поставлять даже в единичных количествах роботы, собранные из хорошо отработанных унифицированных модулей, для выполнения самых разнообразных технологических операций. Таким образом, заманчивая идея создания сравнительно небольшого семейства

универсальных роботов, такая близкая их прототипу – человеку, была заменена идеей универсального набора компонентов роботов – модулей.

Сегодня роботы применяются практически во всех сферах человеческой деятельности, а уровень робототехники является важным показателем научно-технического, промышленного и оборонного потенциалов каждой страны.

Вторая указанная выше фундаментальная цель робототехники – это экспериментальное изучение и воспроизведение феномена разумного поведения живых существ. В дальнейшем эта проблема развилась в самостоятельное научно-техническое направление, получившее название «искусственный интеллект». То, что эта проблематика наиболее остро встала именно в робототехнике, вытекает из самой ее исходной сущности, как альтернативы занятого физическим трудом человека. Первый же опыт создания таких машин показал недостаточность, и даже примитивность современной теории и техники автоматического управления и теории информации по сравнению с задачами, решаемыми человеком при выполнении даже самых простых манипуляционных операций.

В связи с этим были развернуты интенсивные экспериментальные исследования с объектами типа «глаз-рука» и различными осязаемыми мобильными объектами – тележками, которые продолжаются и сегодня. В последнее время к ним добавились исследования группового поведения подобных объектов (мультиагентные системы, игры роботов и т.п.).

Это направление в робототехнике непосредственно соответствует основной идее кибернетики об общности информационно-управляющих процессов в технике и в живом мире. Одна из конечных целей этого направления в робототехнике – воспроизведение процесса эволюции живой природы, поскольку именно робот является технической системой, которая реализует триаду «сенсоры – мозг – активаторы (эффекторы)», замкнутую в кольцо через внешнюю среду. Именно на базе роботов представляется возможным реализовать и исследовать известный тезис «рука создала человека». Конечным научно-техническим результатом этих исследований должны стать принципы и методика самоусовершенствования интеллектуальных технических систем типа робот. Это позволит спустить курок эволюционного совершенствования роботов, пределом которого, разумеется, не будут интеллектуальные способности человека. Конечно, это эмпирика, но она даст результат, гарантированный опытом развития живой природы. Ведь ее эволюционное развитие – это тоже эмпирика, метод проб и ошибок.

Однако решить эту проблему в рамках одной робототехники нереально. Здесь необходимо скоординированное взаимодействие со многими смежными научно-техническими направлениями, хотя бы потому, что для этого требуется создание принципиально нового материально-технического обеспечения не только для информационно-управляющих систем (технические нейроразподобные структуры и т.д.), но и для остальных компонентов названной выше триады – исполнительных систем и сенсоров.

Что касается первых, то подобно тому как робототехника явилась одной из побудительных причин и полигоном развития работ по проблеме искусственного интеллекта, она же инициировала проблему «искусственной мышцы», как

проблему создания принципиально новых приводных исполнительных систем с по крайней мере на порядок лучшими массо-габаритными характеристиками, чем у таких систем, основанных на современных электрических, гидравлических и пневматических приводах. Последние именно более чем на порядок уступают по указанным характеристикам поперечно-полосатым мышцам животных. Речь идет о принципиально новом подходе к построению приводов, так же заимствованном у живой природы и основанном на параллельно-последовательной работе сотен и тысяч элементарных микроактиваторов. Аналогичная проблема перехода к микромодульному построению стоит и перед сенсорными системами. Успешное решение этих проблем будет иметь революционизирующее значение не только для робототехники, но и для всего машиностроения.

Что касается собственно робототехники, то, как отмечено выше, прикладная робототехника в своем развитии практически быстро исчерпала научный задел, который был предоставлен ей, прежде всего теорией автоматического управления и информатикой, а также технический задел в виде приводов и систем ЧПУ, заимствованный у станкостроителей. И сегодня ее дальнейший прогресс почти целиком зависит от успехов в решении названных выше фундаментальных проблем. Так сомкнулись первоначально почти не связанные два направления развития робототехники – прикладное и фундаментальное. Конечно, это признак ее зрелости и становления как самостоятельной науки.

В начале своего развития робототехника пережила период романтизма, период «бурь и натиска», когда казалось, что еще немного и мы «схватим бога за бороду» – наступит «роботовладельческий» строй. На смену порожденных кибернетикой споров о том может ли машина мыслить и превзойти в этом человека, разогрелись дискуссии об опасностях, которые могут принести роботы, вплоть до их бунта против человека. Затем наступили зрелость и прозрение: определился целый комплекс серьезнейших научно-технических проблем, которые стоят на пути к царству роботов. Основные из них были названы выше и, как следует из изложенного, генеральное направление дальнейшего развития робототехники – это прежде всего комплексная миниатюризация компонентов и интеллектуализация в виде распределенного интеллекта, пронизывающего все системы роботов от сенсорики до приводов и даже до конструктивных материалов и «кожи» роботов (интеллектуальные материалы) и искусственные мышцы.

Решение проблемы комплексной миниатюризации в машиностроении – это одна из основ машиностроения XXI века в целом. Этот процесс начался в шестидесятые годы в наиболее молодой отрасли машиностроения – электронном машиностроении. Традиционное машиностроение основано на идеях, возникших в XVIII веке вместе с созданием первых машин. В ее основе лежит концепция повышения мощности машинных единиц как путь повышения удельной мощности, КПД и других основных показателей. Машины XXI века в значительной степени будут построены на других принципах, еще совсем недавно не прогнозируемых даже в научной фантастике. Это базирование, подобно живым организмам, на распределенные десятки тысяч адаптивных и интеллектуальных ячейки типа «сенсор-процессор-активатор». Они получили название **микроэлектронно-**

механических систем (МЕМС) и представляют собой электромеханические приборы размером в единицы миллиметров. Переход на такую элементную базу позволит не только на порядки улучшить основные характеристики машин, но и кардинально расширить их функциональные возможности и создать принципиально новые типы машин. Достаточно назвать подводные корабли с возможностями дельфинов, многотысячные группы миниатюрных летательных аппаратов, контролирующих среду и выполняющих другие, например, военные задания, микроробототехнические системы для хирургии и внутреннего контроля различных технических объектов, массовые микросистемы для переработки отходов, обработки сельскохозяйственных угодий, разрушения сооружений и т.п., «умные» материалы (smart materials) и конструкции, адаптирующиеся к внешним условиям.

Неизбежность этой научно-технической революции обусловлена, как и в робототехнике, в частности, с одной стороны все большим приближением в ходе эволюционного освоения потенциальных возможностей традиционных типов машин к пределу, а с другой появлением и быстрым развитием научно-технического и технологического задела для формирования новой концепции построения машин на микротехнической базе. Исходной технологической основой при этом является современное производство микроэлектроники. Однако в ближайшем будущем предстоит перейти от этой в основном плоскостной технологии к новым **трехмерным технологиям** изготовления пространственных структур и подвижных микросоединений в виде микроэлектронно-механических преобразователей типа сенсоров, датчиков и исполнительных устройств (активаторов). По существу, предстоит создать основу **новой индустрии микротехники** подобно тому, как в свое время это было сделано в микроэлектронике.

Что касается собственно робототехники, то по мере решения проблемы комплексной микроминиатюризации неизбежно будет пересматриваться и общая концепция построения роботов. Уже сегодня назрела необходимость создания на базе единого системного подхода нового поколения модулей – интеллектуальных, основанных на новой микроэлектромеханической элементной базе. За этим в свою очередь неизбежно последует корректировка самого принципа модульного построения роботов с кардинальным расширением их функциональных возможностей, а, следовательно, и сфер применения. И не исключено, что на этом новом витке развития технической базы может возродиться идея универсальных роботов. Основной предпосылкой для этого, как раз, будет успешное решение проблемы создания приводов типа искусственная мышца по универсальности близких мышцам животных. Дело в том, что основным препятствием для расширения степени универсальности роботов являются их силовые, исполнительные системы. Они не допускают избыточности как с точки зрения экономических, так и массо-габаритных и энергетических показателей, подобной избыточности, реализованной в вычислительной технике на базе микропроцессоров. Идея искусственной мышцы может стать основной для преодоления этого препятствия.

В заключении перечислим основные области применения робототехники, где в первую очередь должны будут реализовываться достижения в решении рассмотренных научно-технических проблем:

1. Космическая робототехника. Сегодня это важнейший компонент очередного этапа развития космонавтики. К нему относится, прежде всего, конечно, освоение дальнего космоса и ближайших планет, включая Луну. Космическая робототехника открывает перспективы создания принципиально новых космических объектов и систем, в том числе и в околоземном пространстве, ориентированных на новые возможности, которые предоставляет робототехника.
2. Подводная робототехника. Наряду с космосом это второе направление «экспансии» человечества, где решающую роль должна играть робототехника нового поколения. Если человек-амфибия – это фантастика, то роботы-амфибии – это уже реальность. Достаточно напомнить их работу по обследованию «Титаника» и затонувших подводных лодок, использование подводных роботов-геологов. А, ведь, это, по существу, еще только предыстория подводной робототехники.

В настоящее время еще нет ни лунных и других космических баз, обслуживаемых саморемонтирующимися роботами, нет и подобных подводных сооружений. Однако если сегодня основное направление развития современного машинного производства – это безлюдные комплексно-роботизированные предприятия, то тем более это должно относиться к освоению космоса и глубин океана и развитию соответствующих технологий.

3. Мобильная робототехника наземного и воздушного базирования. Сюда относятся робототехнические системы для действий в экстремальных условиях, в том числе для вооруженных сил и других силовых структур, групповое применение роботов, в том числе в конфликтных ситуациях, и создание следующих интеллектуальных поколений таких роботов, принципиально ориентированных на автономное функционирование.

Особенно большие перспективы связаны при этом с микроробототехникой. Летающие, плавающие, ползающие и т.п. микророботы произведут революцию во многих важнейших сферах человеческой деятельности.

4. Био- и медицинская робототехника. Сюда входит как рассмотренная выше проблематика заимствования бионических решений, так и обратный процесс внедрения робототехники в живые организмы. Начало последнему положило протезирование конечностей, затем усиление физических возможностей человека для функционирования в экстремальных условиях (активные скафандры, биоуправляемые шагающие машины и т.п.). Наконец, появились новые поколения интеллектуальных протезов и экзоскелетов, роботы-сиделки, робототехнические системы для реабилитации инвалидов, массажисты и т.п. Однако, прежде всего – это такие новые области применения робототехники как хирургия, в том числе

дистанционная, роботы-ассистенты, микророботы для внутрисосудистой и внутрисуставной диагностики и хирургии.

Среди перечисленных перспективных областей применения робототехники отсутствует промышленная робототехника. Объясняется это тем, что хотя в обозримом будущем основной мировой парк роботов, по-прежнему, будут составлять промышленные роботы, не этот уже сложившийся раздел робототехники определяет ее развитие в рассмотренных выше направлениях, а именно перечисленные выше бурно развивающиеся области применения.

Как уже отмечалось, для решения вышеуказанных проблем необходима консолидация сил робототехники со смежными научно-техническими направлениями. И в этой связи назрела потребность в анализе самой сложившейся системы таких направлений, которые так или иначе тоже порождены идеями кибернетики и соответственно близки робототехнике. Основой и символом такой консолидации может стать названная выше триада «сенсорика – процессор – активатор». Она появилась в технике вместе с первыми автоматами древности, затем составила основу теории автоматического управления и кибернетики, а в последние годы начинает пронизывать буквально все направления научно-технического прогресса, начиная с материаловедения (интеллектуальные материалы) и кончая компьютерно-сетевыми технологиями (мультиагентные системы). Заметим, что если в первом случае эта триада реализуется полностью на материальной основе, то во втором – на программной, когда даже объект управления является программным продуктом.

Другим важным принципом для указанной консолидации может стать и тот системный подход к реализации названной выше триады, который заключается в отказе при изучении и создании технических систем от декомпозиции их на объект управления и управляющую систему. Перспективность этого принципа для робототехники очевидна и он прогрессивно внедряется, в частности, в ходе распределенной интеллектуализации роботов и их модулей. Этот принцип, основанный на использовании общесистемных критериев, начал применяться в технике давно еще при создании первых статически неустойчивых объектов, например, в электроэнергетике («искусственная устойчивость»), в авиации. В частности, он лежит в основе мехатроники, которая тоже входит в родственные робототехнике научно-технические направления.

В этой связи остановимся на связях робототехники и мехатроники. Формально они объединены в научное направление «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» и в учебное направление «Мехатроника и робототехника».

Вместе с тем мехатронику и робототехнику нельзя сопоставить как самостоятельные научно-технические направления, поскольку они определены по разным квалификационным признакам. Робототехника определена по функциональному назначению, а мехатроника по физическому составу. Однако, действительно, мехатроника и робототехника имеют много общего и довольно тесно взаимосвязаны. Многие компоненты средств робототехники – приводные и сенсорные можно отнести к мехатронным. В свою очередь мехатронные

устройства в наиболее развитом виде реализуют как и все робототехнические системы замкнутую на внешнюю среду триаду «сенсорика-процессоры-активаторы». Из этого следует, что мехатроника, действительно, должна иметь много общего с робототехникой в принципах построения и методах проектирования. Сюда прежде всего относятся лежащий в основе построения средств робототехники модульный принцип построения и упомянутый выше системный подход к проектированию.

Мехатроника как новое научно-техническое направление возникла в результате органического слияния электромеханики и микроэлектроники в виде прежде всего автоматических технических объектов и систем.

Аналогичным образом в свое время возникла электромеханика в результате интеграции механики и электротехники. Типичные объекты электромеханики – электрическая машина, реле и т.п. динамические объекты не могут быть созданы путем сотрудничества механиков и электротехников. Для этого необходимы принципиально новые синтетические специалисты – электромеханики. И технические требования, соответственно, критерии оптимизации для таких объектов не могут быть разбиты на механические и электротехнические.

Главным обоснованием мехатроники, как самостоятельного научно-технического направления, должно являться аналогичное наличие именно таких объектов нового типа, которые требуют системного подхода и критериев, охватывающих образующие ее науки – механику и выросшую из электротехники электронику. В этой связи в соответствии с общей тенденцией развития техники одним из основных направлений развития мехатроники в ближайшие годы станет микротехника на основе развития микроэлектроники в трехмерные структуры с подвижными частями. Именно в микротехнике электромеханика превратилась в микроэлектромеханику, т.е., по существу, в мехатронику. Из микротехники уже сегодня можно назвать целый ряд истинно мехатронных объектов. К ним относятся некоторые типы гироскопов, аксельметров и других микромеханических сенсорных систем, микроэлектромашин, микротурбины и т.п. изделия микротехники.

Наряду с такого типа изделиями мехатроники ее объектами, очевидно, могут быть и близкие им по физической природе и принципу действия устройства, которые допускают декомпозицию при проектировании и, поэтому, строго говоря, не являются мехатронными в указанном выше смысле, однако именно специалисты по мехатронике могут их наиболее качественно создавать. Таким образом, с точки зрения предмета мехатроники можно говорить о ее объектах в указанном выше узком и в широком смысле.

Аналогичное положение существует в робототехнике. Ее объектами, как было показано выше, наряду с роботами являются различные транспортные машины, манипуляторы и другие компоненты роботов, применяемые как самостоятельные изделия.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Основные этапы развития движений в живой природе.

В табл.П.1 приведены основные этапы эволюции движения, начиная с первых возникших на Земле живых организмов и кончая человеком [17]. Около 1 млрд. лет тому назад случайное соединение молекул в Мировом океане дало начало жизни — живую, т.е. размножающуюся клетку. Примерно через 200 млн. лет после этого появились первые многоклеточные, у которых со временем начался эволюционный процесс специализации клеток. Из наружных клеток, развивших способность реагировать на внешние раздражения (механические, химические, температурные и др.), возникли сенсорные клетки — рецепторы. Внутренние клетки, развив способность сокращаться, превратились в мышечные. В результате возникли первые еще беспорядочные рефлекторные движения прежде всего как реакция на внешние воздействия. Необходимая для этого связь между рецепторными и мышечными клетками была сперва реализована химическим путем (с помощью специальных веществ — медиаторов), а затем с помощью электрических сигналов. Последнее позволило повысить быстроедействие, хотя в начале эти сигналы тоже были ненаправленными, диффузно распространявшимися по всему телу. Затем постепенно оформились определенные пути для этих сигналов и появились соответствующие специальные нервные клетки.

Следующим принципиальным этапом эволюции было развитие специализации частей тела животных. Появились продолговатые животные, один конец тела которых, где помещался рот, постепенно обогащаясь рецепторами, стал главным, т.е. головой. Развитие чувствительности этих рецепторов привело к появлению дистанционных рецепторов — телерецепторов (обонятельных — из вкусовых, слуховых — из механических, зрительных — из температурных). Такая дистанционная чувствительность в определенных направлениях дала толчок к организации локомоций, т.е. к целенаправленному передвижению всего тела. В связи с этим потребовалась координация частей тела, в результате чего появился такой центр управления, как головной мозг, задачами которого стали сбор информации от рецепторов, обработка ее и на этой основе выработка сигналов управления мышцами, т.е. движением тела, как реакция на зарегистрированные внешние раздражения.

Следующий этапный момент в развитии движения животных — появление поперечнополосатой мышцы, которая в сотни и тысячи раз мощнее и динамичнее ранее возникшей гладкой мышцы. С появлением такого мощного двигателя потребовался жесткий скелет (до этого все живые существа были мягкотелыми). Эволюция пошла здесь двумя путями:

- 1) наружный скелет в виде панциря, состоящий из отдельных пластинок, соединенных внутри мышцами, у членистоногих;
- 2) скелет из костей внутри, а соединяющие их мышцы снаружи, у хордовых (позвоночных).

Этапы развития движений в живой природе.

Новое появившееся качество	У кого возникло	Сколько лет тому назад
Зарождение живой клетки в океане.	Одноклеточные	1 млрд.
Специализация клеток у многоклеточных с возникновением рецепторных, мышечных, а затем и нейронных клеток, осуществляющих связь между клетками, которая привела к возникновению рефлексорности.	Губки	800 млн.
Формирование головы со ртом и развитие на ней телерецепторов, ориентированных на внешнюю среду и, соответственно, появление возможности целенаправленного движения всего тела в сторону определенных объектов внешней среды, т.е. локомоций.	Черви	
Головной мозг как центр координированного управления движением всех частей тела.	Высшие моллюски (осьминоги, каракатицы и др.)	500 млн.
Поперечнополосатая мышца и скелет, сперва наружный.	Членистоногие (ракообразные и др.)	
Внутренний скелет — основа дальнейшего совершенствования двигательных способностей.	Рыбы и далее все другие хордовые (позвоночные)	
Развитие сенсорной коррекции движений как нового уровня управления движением в функции от текущей информации о внешней среде и соответствующее совершенствование головного мозга.		
Конечности, возникшие из парных плавников рыб при переходе от водного к водно-наземному образу жизни.	Земноводные	

Продолжение таблицы П.1.

Новое появившееся качество	У кого возникло	Сколько лет тому назад
Экстрапирамидная двигательная система — иерархическая система управления движением, включающая как древние нижние уровни сегментарного управления туловищем, так и новые уровни управления конечностями, развившиеся в головном мозгу и совершенствующиеся у пресмыкающихся, а затем птиц. У последних эта иерархическая система рефлекторного управления достигла наибольшего совершенства. Развился мозжечок, обеспечивающий координацию движений, равновесие.	Земноводные, пресмыкающиеся, птицы	
Пирамидный путь управления мышцами от коры головного мозга, возникший параллельно с иерархическим экстрапирамидным путем. Этот качественный скачок произошел на фоне эволюционно усложняющегося экстрапирамидного пути в результате развития коры головного мозга (зачатки которой появились еще у пресмыкающихся) и явился базой для освоения новых более совершенных (по сложности, быстродействию, точности) движений и развития самообучения как основы уже не инстинктивного, а разумного поведения.	Млекопитающие	100 млн.
Рука для манипуляций в процессе трудовой деятельности человека с использованием орудий труда. В результате развилась современная кора полушарий головного мозга. Робот выступает как качественно новый тип орудие труда, который, взаимодействуя с другими машинами и другими орудиями труда, реализует вместо человека трудовой процесс принципиально способен лучше человека осуществлять необходимые для этого манипуляции и иметь интеллект, включая подобно человеку способность к самообучению и самоусовершенствованию.	Человек Специализация людей в трудовом процессе Робот	3 млн. 2 млн. 30-35

Второй путь был сложнее первого, так как помимо собственно движения тела требовалось еще поддержание позы и устойчивость тела. Однако именно этот путь обеспечил возможность реализовать значительно более сложные, быстрые и точные движения. В связи с этим, если первый путь завершился на насекомых, то второй привел к млекопитающим и человеку.

Появление поперечнополосатой мышцы и жесткого скелета стимулировало дальнейшее совершенствование управления движением путем развития оперативной сенсорной коррекции движений по текущей информации о внешней среде, т.е. адаптивного управления. Это в свою очередь вызвало дальнейшее совершенствование головного мозга.

Следующий важный для нашей темы этап эволюции — появление у земноводных конечностей, которые образовались из парных плавников при переходе к водно-наземному образу жизни. Это привело к дальнейшему усложнению и совершенствованию системы управления. К возникшей ранее системе управления локомоциями, построенной по сегментарному принципу, когда каждая часть туловища управляется соответствующей частью спинного мозга, добавилась система управления конечностями посредством импульсов от головного мозга (который управляет при этом и локомоциями в целом). Постепенно развилась сложная иерархическая система управления — экстрапирамидная двигательная система, в которой образовывались новые уровни управления, решающие все более сложные задачи и действующие через ранее возникшие уровни, вплоть до сегментарного управления через спинной мозг. Пределом совершенства такого управления являются птицы, которые обладают по сравнению с предшествующими им пресмыкающимися исключительной динамичностью и координацией движения. Однако это управление в целом является рефлекторным, т.е. инстинктивным. Соответственно, и кора полушарий головного мозга у них осталась в зачаточном состоянии.

Следующим качественным этапом явилось возникновение прямого, так называемого пирамидного, пути управления мышцами от коры головного мозга параллельно многоуровневому и поэтому довольно медленно действующему экстрапирамидному пути. Этот канал управления движением взял на себя осуществление новых более сложных, быстрых и точных движений и привел в свою очередь к интенсивному развитию коры головного мозга. В результате возник качественно новый тип управления — интеллектуальное управление, основанное на обучении на основании наблюдений, собственного опыта и выработки соответствующих новых алгоритмов поведения. Это достижение принадлежит млекопитающим.

Ниже приведены основные типы локомоции, возникшие в живом мире в процессе эволюции.

1. В воде.

1.1. Передвижение по дну:

- путем подтягивания конца туловища к голове, затем перемещение вперед головы с выпрямлением туловища и т.д.;
- с помощью щупалец, присасывающихся к поверхности и затем сокращающихся по длине.

1.2. Реактивное движение:

- путем быстрого захлопывания створок раковин;
- путем забора и резкого выброса воды (каракатицы, гребешки).

1.3. Гребки хвостом у рака.

1.4. Плавание рыб за счет волнообразных изгибаний тела и движений хвоста с использованием парных плавников как рулей глубины.

1.5. Плавание на поверхности воды (животные).

1.6. Передвижение по поверхности воды (коллемболы и некоторые другие насекомые).

2. В воздухе.

2.1. Махание крыльями (птицы)

2.2. Планирование.

2.3. Парашютирование.

3. Под землей.

3.1. Путем раздвижения (уплотнения) земли (червь расширяет всунутую в землю голову).

3.2. Путем выбрасывания земли назад (кроты, мыши и др.).

4. По земле.

4.1. Ползание (змеи и др.).

4.2. Лазанье.

4.3. Хожение (с использованием разного количества ног).

4.4. Прыганье (на двух и четырех конечностях).

4.5. Бег симметричный, несимметричный, прыжковый, галоп и т.д. (с использованием разного количества конечностей).

Последним этапом эволюции движения в живом мире явилось развитие манипуляционных способностей. Самым совершенным универсальным средством для этого стали руки человека. С этого момента в дальнейшем развитии движений на первое место выступает уже не биологическое совершенствование отдельного человека, а значительно более интенсивное во времени его общественное развитие, включая разделение труда, с доведением до все большего совершенства профессиональных навыков, и развитие орудий труда.

И, наконец, завершением этого процесса явилось создание заменяющих человека роботов как универсальных устройств для манипуляционных и локомоционных действий в общественном производстве и других сферах человеческой деятельности. Дальнейшее совершенствование манипуляционных движений будет происходить, следовательно, уже в результате развития робототехники с преодолением, соответственно, тех принципиальных ограничений, которые присущи человеку и живой природе в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интегральные роботы. Сборник статей под ред. Е. Поздняка, М., Мир, 1973, вып.1, 1975, вып.2.
2. Е.И. Юревич. ЦНИИ РТК. История создания и развития. Санкт-Петербург, СПбГТУ, 1999.
3. Планетоходы. Под ред. А.Л. Кемурджиана. М., Машиностроение. 1993.
4. М. Вукобратович. Шагающие роботы и антропоморфные механизмы. М., Наука, 1961.
5. С.В. Першин. Основы гидробионики. Л-д, Судостроение, 1982.
6. А.Н. Радченко. Ассоциативная память. Нейронные сети. Оптимизация нейропроцессоров. Санкт-Петербург. Наука, 1998.
7. Манипуляционные системы роботов. Под. ред. А.И. Корендясева. М., Машиностроение, 1989.
8. А.И. Корендясев, С.В. Левин. Принципы построения захватных устройств с рекуперацией энергии. Проблемы машиностроения и автоматизации, 1990, № 3.
9. И.М. Макаров, В.М. Лохин, М.П. Романов. Система управления транспортным роботом с рекуперацией энергии. Проблемы машиностроения и моделирования в сложных технологических системах. М. МИРЭА. 1995.
10. С.Г. Аграновский, А.Б. Кизиллов, Б.И. Морозов. Искусственная мышца. Сборник научных работ “Вычислительные, измерительные и управляющие системы”. Труды ЛПИ № 423. Ленинград, ЛПИ, 1988.
11. Shahinpoor M. Artificial Muscles. ERI Press, Albuquerque, New Mexico, Pending Publications. 1997.
12. Динамика управления роботами. Под. ред. Е.И. Юревича. М., Наука. 1984.
13. П.Д. Крутько. Управление исполнительными системами роботов. М., Наука, 1991.
14. Е.С. Пятницкий. Принципы декомпозиции в управлении механическими и электромеханическими системами. Сборник трудов “Синтез систем управления манипуляционными роботами на принципе декомпозиции”. М., ИПУ, 1987.
15. Е.И. Юревич. Перспективы развития модульного принципа построения средств робототехники. Стандарты и качество. М., № 5, 1989.
16. Н.М. Довбня, А.Н. Кондратьев, Е.И. Юревич. Роботизированные технологические комплексы В ГПС. Ленинград, Машиностроение, ленинградское отделение. 1990.
17. Н.А. Бернштейн. О построении движений. М., Машиностроение, 1975.