

## Оглавление

<b>ГЛАВА 1. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>4</b>
1.1 История .....	5
1.2 Понятие робота, робототехнических систем.....	7
1.3 Сферы применения и функции роботов.....	11
1.4 Типовые конструкции роботов.....	19
1.5 Математическое обеспечение систем управления роботами .....	26
1.5.1 Математическое описание манипуляторов .....	29
1.5.2 Математическое описание приводов.....	33
1.5.3 Математическое описание систем передвижения роботов.....	33
1.5.4 Математическое описание человека-оператора .....	34
1.5.5.1 Дискретное цикловое программное управление роботами.....	36
1.5.5.2 Дискретное позиционное программное управление роботами.....	37
1.5.5.3 Непрерывное программное управление роботами.....	38
1.6 Программно-технические средства управления роботами .....	41
1.7 Понятие технического зрения.....	47
<b>ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ .....</b>	<b>57</b>
2.1 Задачи компьютерного зрения .....	57
2.2 Гистограммная обработка изображений.....	58
2.2. Бинаризация изображений.....	61
2.3. Фильтрация изображений .....	63
2.4 Выделение контуров .....	66
2.5 Детектирование объектов с помощью метода сравнения с шаблоном.....	68
2.6 Пример использования алгоритмов компьютерного зрения в промышленности.....	71
<b>ГЛАВА 3 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ МАНИПУЛЯТОРОМ.....</b>	<b>74</b>
3.1 Структура управления .....	74
3.2 Технический комплекс робототехнического манипулятора.....	76
3.3 Управление серводвигателями.....	80
3.4 Формирование управляющего воздействия для платы управления.....	82
3.5 Обмен информацией между микроконтроллером ATmega328 платы управления DaVinci и ПК с использованием интерфейса UART .....	86
3.6 Обработка данных в микроконтроллере ATmega328.....	89

<b>ГЛАВА 4 Человеко-машинный интерфейс с использованием компьютерного зрения .....</b>	<b>96</b>
<b>4.1 Концепция управления роботом с использование компьютерного зрения .</b>	<b>96</b>
<b>4.2 Программный прототип машинно-человеческого интерфейса с использованием компьютерного зрения.....</b>	<b>97</b>
<b>ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ .....</b>	<b>101</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>103</b>
<b>Приложение А .....</b>	<b>105</b>
<b>Приложение Б.....</b>	<b>106</b>

## ГЛАВА 1. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

В первой главе рассматриваются основные теоретические данные по робототехническим системам. Кратко описана история возникновения интереса к данной отрасли. Приведено понятие робота, робототехнических систем и робототехнике. Также рассмотрены предметные области, входящие в робототехнику и научно–технические предпосылки.

Описана сложность создания робототехнических систем, заменяющих человека. Проведена классификация и дано описание робототехнических систем по типу: решаемых задач; выполняемой работы; по типу управления.

Рассмотрена механическая часть робототехнических манипуляторов – захватных механизмов и приводов. Произведено описание и рассмотрены плюсы и минусы, также выделены, типично использующие в промышленности, приводы.

Для выбора способа управления роботизированным манипулятором было рассмотрено математическое описание структурных элементов робототехнической системы и приведены их структурные схемы. Описаны способы управления роботом, плюсы и минусы данных способов и приведены примеры реальных роботов, использующих ту или иную систему управления.

Описана программная и аппаратная часть управления роботом и все составляющие входящие в неё. Рассмотрены типовые системы управления роботами. В заключении приведено описание технических и программных средств, решающие задачу «очувствления роботов».

Первая глава является литературным обзором – это нужно было для того, чтобы глубже понять изучаемую область, показать сложность и многообразие подзадач, которые решаются при создании робототехнических систем.

## 1.1 История

Робототехника уходит корнями в глубокую древность, когда впервые выдвигались идеи и предпринимались попытки создания человекоподобных устройств: статуй, способных двигаться; механических слуг и т.п. Если проанализировать древние легенды и мифы, то можно обнаружить много схожих с роботами «существ».

В 3 веке до н.э. в древнегреческой мифологии встречается упоминание о Талосе - медном великане. Также, всем известный Голем, является не менее древним прообразом робота. Но это все примеры из мифов и легенд, достоверные сведения о «механических людях» относятся к 1 веку н.э. и связаны с именем древнегреческого механика Герона Александрийского (10-70 г.н.э). На его счету такие изобретения как: дозатор святой воды, который работал, если бросить в него монету (прообраз современных торговых автоматов); автоматические двери и золипил (*рисунок 1.1.*), работавший на энергии пара за 1700 лет до парового двигателя Джеймса Уатта (James Watt). Но самым главным и удивительным его достижением был программируемый робот.

Устройство представляло собой трёхколёсную телегу (*рисунок 1.1.*), перевозившую других роботов на сцену, где они выступали перед зрителями. Вокруг двух независимых осей телеги была завязана верёвка, которую натягивал падающий вес. С помощью осей, Герон мог контролировать то, как верёвка наматывается на ось, а значит заранее задавать роботу направление. Единственной проблемой было трение, так что машина должна была двигаться по гладкой поверхности.



**Рисунок 1.1 – Паровой двигатель (слева) и программируемый робот Герона (справа).**

Футуролог и профессор Ноэль Шарки из Университета Шеффилда считает, что веревка, как средство управления, эквивалента современному двоичному коду.

Не все труды гениев античности сохранились и дошли до наших дней, но, так или иначе, в развитии робототехники также немалую роль сыграли труды: Архимеда, Филона Византийского, Гомера.

Более поздний, в сравнении с античностью, был великий гений Леонардо да Винчи. Изучая труды Герона, Да Винчи создал механические аналоги мышц и суставов человека, а в 1515 году создал механического льва, способного передвигаться самостоятельно.

Наибольшее развитие в создании «механических людей» было достигнуто в 18 веке, во многом благодаря развитию часового мастерства. Механиками, постигшим навык работы с часовыми механизмами, были созданы андройды-рисовальщики, писцы, музыканты. Так, Жанн Вокансон (1709-1789) создал андроида-флетиста, который мог исполнять 11 мелодий. Швейцарские часовщики Пьер-Жак Дро (1721-1790) и его сын Анри Дро (1752-

1791) создали целый ряд человекоподобных автоматов. Стоит отметить, что именно Анри Дро впервые использовал понятие «андроид», что трактовалось как человекоподобный. Общий принцип построения человекоподобных механизмов заключался в сменных кулачках, устанавливаемых на вращающемся барабане и других подобных устройствах, движение которых осуществляется от часового механизма [5].

Со временем, интерес к созданию «механических» людей стал затухать, во многом из-за ослабления роли часового дела. И только в 20 веке, благодаря развитию электротехники и электроники, вновь возродился. В первой половине 20 века деятелями в этой области были: Гарри Мей, создавший человекоподобный автомат «альфа»; Август Губер, создатель автомата «собор» и др.

В основном, устройства первой половины 20 века использовались для рекламных целей, но уже во второй половине 20 века начали предприниматься попытки внедрять роботов для реализации разных практических задач.

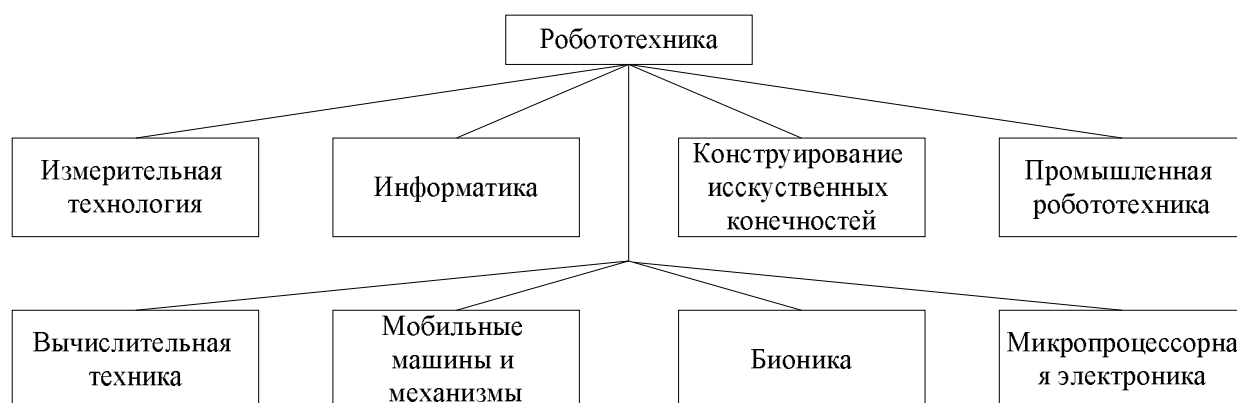
## **1.2 Понятие робота, робототехнических систем**

Общее представление о «роботах» сложилось еще в глубокой древности, что видно из множества мифов и легенд. Само же понятие «робот» впервые упоминается в пьесе Карела Чапека «Россумские Универсальные Роботы» (R.U.R) в 1920 году. R.U. R. предназначался для выполнения рутинного труда вместо людей. После этого понятие «робот» все чаще упоминалось в научно-фантастических романах и к концу первой половины 20 века уже окончательно «прижилось». Поэтому в подсознании каждого человека был некий образ, который ассоциировался с термином «робот» и «робототехника».

Робототехника, как наука, появилась во второй половине 20 века, когда в ходе развития производства появилась потребность в манипуляционных

машинах автоматах, способных выполнять опасные и тяжелые операции под управлением человека. Например, в атомных реакторах для обслуживания контрольно-измерительной аппаратуры или для проведения технологических операций при высокой радиации были разработанные специальные манипуляторы, управляемые человеком-оператором, который находится в специальном защищённом месте. *Манипуляторами* называются устройства, способные на расстоянии воспроизводить функции человеческой руки.

Также для робототехники, на тот момент, были созданы научно-технические предпосылки: компьютеризация производства; автоматизация технологических процессов; огромный опыт в использовании станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Как наука, робототехника затрагивает многие предметные области (*рисунок 1.2*).



**Рисунок 1.2 – Предметная область робототехники.**

*Измерительная технология* затрагивает такие важные направления, как:

- Создание систем технического зрения (СТЗ), которые позволяют видеть, узнавать и анализировать мир, окружающий робота.
- Создание датчиков, для вычислений координат в трехмерном пространстве, позволяющие измерять расстояния до предметов.
- Разработка алгоритмов анализа окружающего мира.
- Создание систем, дающих возможность вести речевое общение с

роботом.

- Очувствление руки робота, за счёт оснащения ее различными сенсорами осязания и др.

*Искусственный интеллект* занимается изучением методов функциональной имитации человеческого разума, посредством создания таких технических систем, которые способны к самостоятельному анализу, обучению и самообучению.

*Конструирование искусственных конечностей* изучает методы создания гибких, малогабаритных и легких конструкций, способных выполнять различные функции с заданной для них точностью и усилением. Эта отрасль включает в себя также протезирование, бионику, мобильные машины и механизмы.

*Промышленная робототехника* занимается созданием и внедрением роботов и робототехнических систем в производственные процессы. Имеет самые быстрые темпы развития, за счет своей практической важности, так как является неотъемлемой частью автоматизации.

Стремительные темпы развития робототехники и всех её составляющих дисциплин, а также успехи, достигнутые в этой области, вносят поправки и изменения в представление о роботах. Из этого следует, что вместе с развитием робототехники, модифицируется и расширяется понятие робот. Следует заметить, что понятие робототехники почти не меняется и не претерпевает изменений.

*Робототехника* – это область науки и техники, связанная с изучением, созданием и использованием принципиально нового технического средства комплексной автоматизации производственных процессов – *робототехнических систем*.

Для того чтобы продемонстрировать всю трудность формулировки универсальных понятий «робот» и «робототехническая система» приведем, на наш взгляд, самые удачные формулировки этих понятий и попробуем дать наше определение.



Определения из Большой Советской Энциклопедии:

- *Робот* – это машина с антропоморфным (человекоподобным) поведением, которая частично или полностью выполняет функции человека (иногда животного) при взаимодействии с окружающим миром.
- *Робот* – машина-автомат, моделирующая свойства и функции живых организмов и, в частности, имитирующая действия человека при перемещении в пространстве орудий и объектов труда.

Определение из словаря по естественным наукам: *Робот* - электронно-механическое устройство, способное к целесообразному поведению в условиях изменяющейся внешней обстановки, выполняющее рабочие операции со сложными пространственными перемещениями.

Следующее определение робота дает нам Википедия: *Робот* – электромеханическое, пневматическое, гидравлическое устройство или их комбинация, предназначенное для замены человека в промышленности, опасных средах и др.

Профессор М. Шпрингер из университета Куин Мэри (Queen Mary), говорил о том, что робот – это устройство, обладающее следующим минимальным набором свойств и возможностей: наличие механической руки и захвата; умение самостоятельного передвижения; наличие исполнительной системы и системы управления; наличие компьютера, как мозга системы; наличие сенсорных устройств [5].

Понятие «робота» достаточно широко и с помощью одного определения охватить все «семейство» данных устройств очень сложно. Но есть общая черта, которая объединяет все устройства данного типа – это имитация действий человека при выполнении работы. Данная черта позволяет отделять устройства, не являющиеся роботами. Наличие же у роботов «мозга», сенсорных устройств и других компонентов определяют функционал робота, но никак не влияют на отношение устройства к группе роботов.

Отличие понятия робота от робототехнической системы состоит в том, что робот является физически единым механизмом, соединённым в один корпус, а робототехническая система физически не находится в одном корпусе, но управление её производится от главного «мозга». Можно дать следующее понятие *робототехнической системе* – это техническая система, в которой преобразования и связи энергии, массы и информации отражены с использованием роботов [13].

### 1.3 Сферы применения и функции роботов

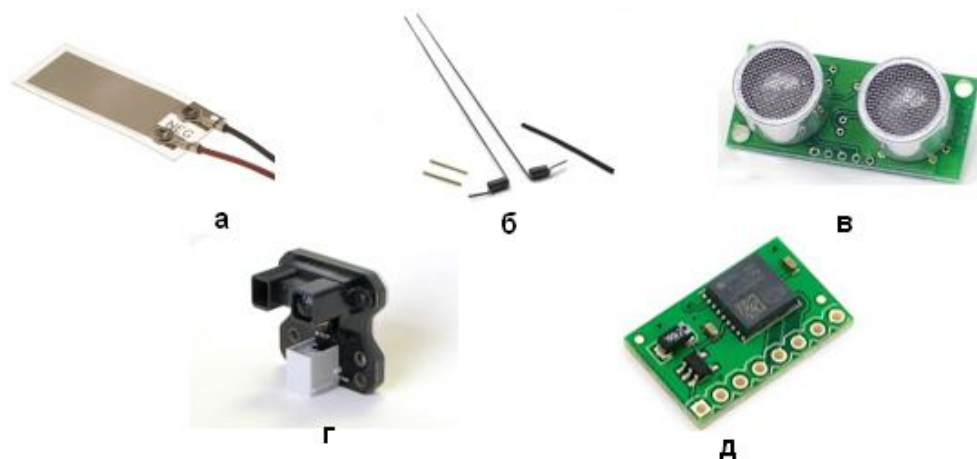
*Современный робот* – это устройство, способное своими функциональными способностями заменить человека в какой-либо деятельности. На данном этапе развития, функциональный набор робота очень широк, и выбор из полного перечня возможностей именно тех функций, которые обеспечат эффективное выполнение определенного процесса – является одной из задач робототехники. Чтобы решить данную задачу и выбрать наиболее оптимальное техническое устройство, требуется сопоставить действия человека и робота, совершаемые при выполнении одних и тех же действий.

При анализе действий, можно найти заметное различие в сложности выполнения одного и того же действия роботом и человеком. Рассмотрим простой пример: требуется взять стакан со стола, поднести его к губам и выпить. Чтобы выполнить данное действие нужно: осмотреть стол и найти на нем стакан, наполненный водой; дотянуться вытянутой рукой до наполненного стакана; схватить стакан и удерживать его с такой силой, чтобы стакан не треснул; поднести стакан ко рту; приложить ко рту стакан; опрокинуть стакан; отвести стакан на стол и поставить его на стол, не разбив при этом. Человек с данной задачей справится, не задумываясь, одним плавным движением, ведь у

него есть все для выполнения этой операции. Роботизирование данной операции может вызвать некоторые трудности, связанные с выполнением всех вышеперечисленных операций [5].

Опишем то, что потребуется роботу для выполнения последовательности вышеперечисленных действий. Для выполнения первого действия, потребуется воспользоваться техническим зрением – для этого потребуется сенсор и алгоритм распознавания образов. При первой же операции, возникает проблема идентификации наполненного стакана из-за большого количества посторонних предметов. Чтобы выполнить вторую операцию, требуется использовать методы управления движением манипулятора робота, но, чтобы воспользоваться этими методами, нужно получить данные о расположении стакана в пространстве. Эти данные получают от системы технического зрения. Стоит заметить, что сам по себе расчет траектории манипулятора представляет собой сложную задачу. Для четкого выполнения третьего действия, нужны датчики, реализующие осязательные функции человеческой руки – это датчик, фиксирующий касание предмета, а также датчик измерения силы, с которой давит кисть манипулятора на предмет (*рисунок 1.3.*). Для выполнения четвертой операции, потребуется рассчитать усиление, которое нужно приложить к стакану – это делается по данным идентификации объекта средствами технического зрения. Операция «поднести стакан ко рту» выполняется методами управления движением манипулятора робота, как при выполнении второго действия. При выполнении пятого действия требуется, чтобы все составные части робота обладали высокочувствительными силовыми датчиками (*рисунок 1.3.*). Также, движение манипулятора должно быть скорректировано, с изменением положения головы. Следующая операция, под номером шесть, является одной из самых простых и относится к классу задач управления движением манипулятора. В данной операции от робота требуется тщательно контролировать положение стакана, управлять углом наклона стакана и скоростью опрокидывания. При выполнении седьмой операции, нужно осуществить плавное опускание стакана

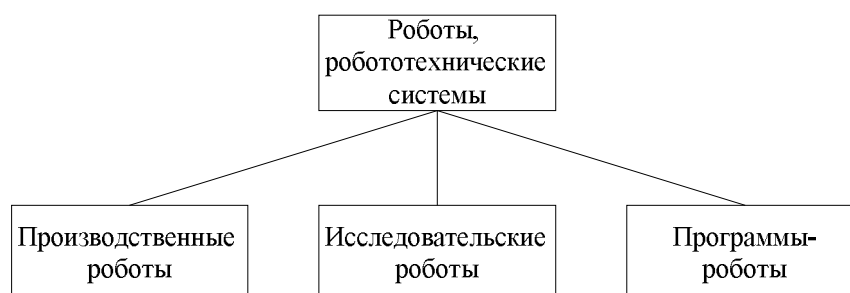
на стол без резкого удара, также кисть манипулятора не должна разомкнуться раньше, чем стакан коснется стола. Это операция требует наличия высокочувствительных тактильных и силовых датчиков (рисунк 1.3.).



**Рисунок 1.3 – некоторые датчики, используемые в робототехнике: а, б- тактильные датчики; в, г- дальномеры; д- акселерометры.**

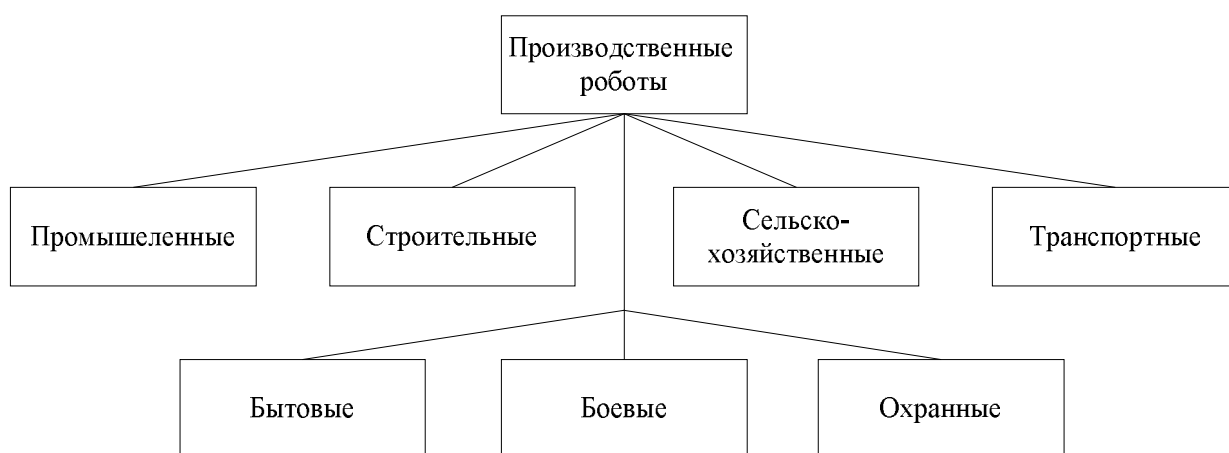
Делаем вывод, что даже для самых, казалось бы, простых задач требуется серьезное техническое и программное оснащение робота. От функционального назначения робота будет зависеть и цена, поэтому при создании роботов требуется четко определиться с функциями, которыми он будет обладать.

В современное время роботов можно разделить на три больших группы по типу решаемых задач (рисунк 1.4.).



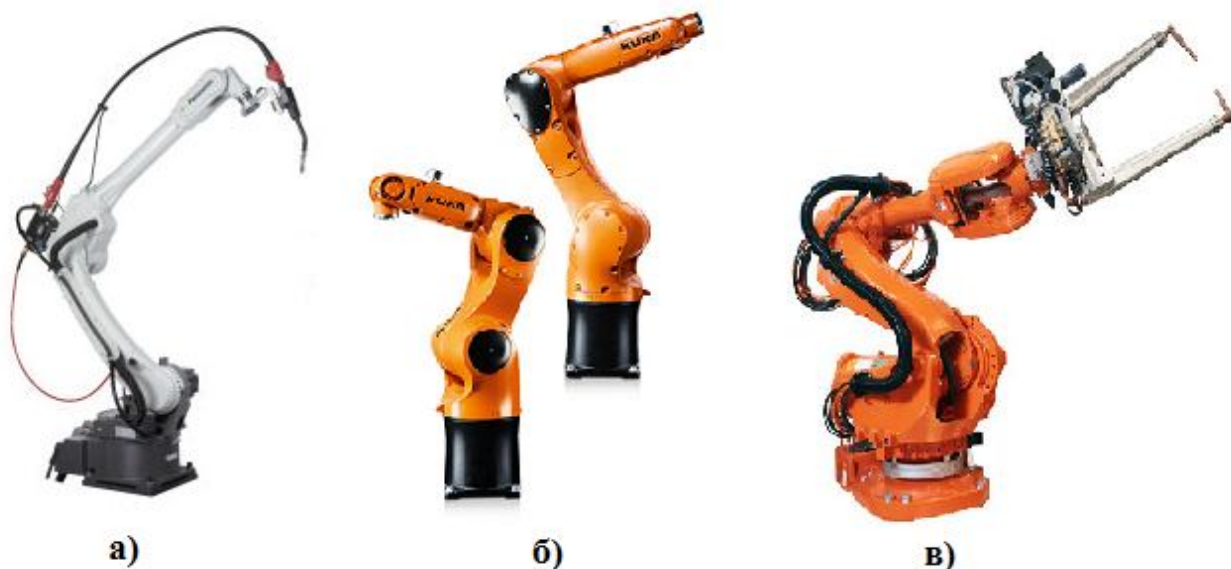
### Рисунок 1.4 – Классификация роботов по типу решаемых задач.

Самой большой и используемой группой являются производственные роботы. Эта группа роботов используется для выполнения тяжелой, монотонной, вредной и опасной физической работы. Их характерной чертой является наличие автоматических исполнительных устройств, таких как: манипуляторы, самоходные тележки и т.д. Так как это самая большая классификационная группа, то в ней можно провести классификацию по типу выполняемой работы (рисунок 1.5.).



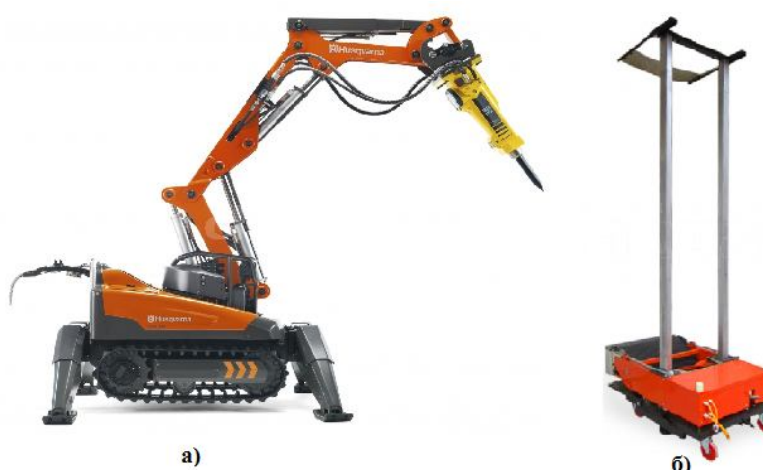
### Рисунок 1.5 – Классификация производственных роботов по типу выполняемой работы.

*Промышленные роботы* применяются для автоматизации различных технологических процессов и операций по производству какой-либо продукции. Например, автоматизированная сварка (рисунок 1.6а), механическая обработка (рисунок 1.6б), сборка готовых изделий (рисунок 1.6в), резка металлов. Отрасли применения этих роботов очень обширны и включают в себя: машиностроение, приборостроение, автомобилестроение, нефтехимическую, металлургическую и атомную отрасли и другие.



**Рисунок 1.6 – Промышленные роботы: а – сварочный робот; б – робот для обработки металлов; в – сборочный робот-манипулятор**

*Строительные роботы* позволяют автоматизировать огромное количество различных операций, как вспомогательных, так и основных, выполняемых в процессе ремонта помещений или строительства новых объектов (рисунок 1.7).



**Рисунок 1.7 – Строительные роботы: а – робот для демонтажа; б – робот штукатур.**

Данная группа роботов является актуальной, так как неуклонно растет население планеты, что ведет к постоянному росту мировых объемов строительства. Стоит отметить, что в последние годы отрасль, производящая строительных роботов, очень выросла, и начала вытеснять обычную строительную технику. Строительные роботы, на данный момент времени, способны выполнять следующие операции: откопка, погрузка, разборка конструкций, демонтаж, снятие слоев поверхности, бурение, подрубка свай, забивание шпунтов и многие другие.

*Сельскохозяйственные роботы* предназначены для выполнения трудоёмких и монотонных процессов в сельском хозяйстве. Примерами таких роботов являются: полевые роботы, роботы для подстрижки овец, роботы – косилки и другие. В настоящее время ведется интенсивная разработка роботов данной категории, и даже есть примеры их внедрения в Китае.

*Транспортные роботы* используются, как для автоматизированного перемещения различных грузов, так и для управления различными транспортными средствами. Например, самоходные тележки, автоматические конвейеры, шагающие аппараты, автопилоты, авторулевые и другие. Данную группу можно разделить еще на 5 групп по грузоподъемности:

- Сверхлегкие (грузоподъемность не более 1 кг.);
- Легкие (грузоподъемность от 1 до 10 кг.);
- Средние (грузоподъемность от 10 до 200 кг.);
- Тяжелые (грузоподъемность от 200 до 1000 кг.);
- Сверхтяжелые (где грузоподъемность свыше 1000 кг.);

*Бытовые роботы* автоматизируют операции, связанные с бытом человека и широким разнообразием сферой его обслуживания. К ним можно отнести следующих роботов: роботы-помощники, роботы-няни, роботы-пылесосы, роботы-носильщики, роботы-игрушки, социальные роботы и другие.

*Боевые или военные роботы*, предназначенные для минимизации непосредственного участия человека в боевых действиях, для сокращения или

исключения человеческих жертв. Развитие этих роботов приведет к выходу вооруженных конфликтов на качественно иной уровень. Количество разновидностей боевых роботов равно количеству боевых задач для воинских подразделений: беспилотные с дистанционным управлением самолеты (вертолеты) – разведчики, подводные аппараты и надводные корабли, роботы-минеры, роботы-саперы, роботы-патрульные, роботы для переноски военной амуниции. Из-за сложности задач, стоящих перед данным классом роботов, современные роботы управляются операторами, но ведутся работы по созданию полностью автономных роботов.

*Охранные роботы* выполняют задачи, связанные с защитой вверенных территорий. Чаще всего спектр их задач сводится к тому, чтобы сигнализировать дежурным операторам о нарушении кем-то допустимых границ.

Следующий большой класс роботов – это *исследовательские роботы* (рисунки 1.8). Они используются для сбора всевозможных видов информации об исследуемом объекте, ее обработки и передачи оператору. Часто эти роботы используются там, где работа человека некомфортна или вообще невозможна и смертельно опасна. Объектами исследования могут быть: поверхности планет, подводное пространство, подземные шахты, пещеры, полости эксплуатируемых трубопроводов, зараженная местность и другие труднодоступные или опасные для человека области. У исследовательских и производственных роботов есть одна схожая черта – они выполняют за человека рутинную работу, главное же отличие этих двух групп в том, что производственные роботы нацелены на совершение работы, в ее классическом понимании, а цель исследовательских роботов сбор информации. Вышесказанное дает нам право сделать вывод, что исследовательский робот должен обладать более сложным и функционально большим программным обеспечением, что позволяет ему ввести анализ исследуемой области.

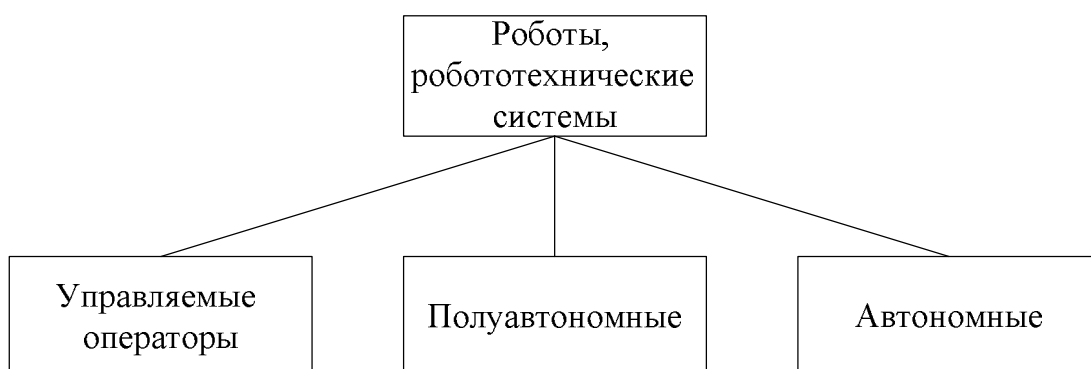




**Рисунок 1.8 – Исследовательские роботы**

Третья большая группа – роботы-программы, часто их еще называют ботами. Роботы программы или боты предназначены для выполнения рутинной работы со скоростью во много раз превышающей, при аналогичной работе, скорость человека. Специальная программа, выполняющая автоматически или по заданному алгоритму какие-либо действия через интерфейсы, доступные человеку – называется ботом. Например, поисковые боты, чат боты, боты в компьютерных играх, спам боты и др. Главным их отличием является то, что они не имеют физической оболочки и являются программой работающих в компьютерных системах.

Говоря о функционале роботов, следует отметить зависимость роботов от оператора (*рисунок 1.9*).



**Рисунок 1.9 – Классификация роботов по типу управления.**

Роботы, управляемые оператором не способны самостоятельно думать и действовать и, по сути, являются дистанционно или прямо управляемыми машинами. Стоит отметить, что такие роботы могут оснащаться сенсорными системами, которые будут следить за крайними положениями робота, дистанцией исполнительного механизма до других предметов – все это служит для защиты робота от ошибок оператора. К данным роботом можно отнести манипуляторы, экзо-скелеты, роботы с пультом управления.

Полуавтономные или полуавтоматические роботы выполняют заранее запрограммированный набор действий, но при этом существует возможность вмешательства оператора для сообщения дополнительной информации. Такие роботы используются, когда невозможно или нецелесообразно запрограммировать все возможные и нужные операции и нет возможности оснастить робота искусственным интеллектом.

Автономные роботы запрограммированы на самостоятельные действия без участия человека, то есть они обладают полноценным искусственным интеллектом. Эта группа роботов является своеобразным апогеем робототехники, но, на данный момент, возможно создать самостоятельного робота только в очень узком диапазоне деятельности.

#### **1.4 Типовые конструкции роботов**

В современном мире существует несколько видов роботов: мобильные и стационарные; промышленные и бытовые; гигантские и нанороботы. В промышленности, в основном, используются так называемые механические манипуляторы, которые, в свою очередь, также делятся на два типа: антропоморфные (напоминающие руку человека и имеющие несколько степеней свободы) и линейные (работающие только в одной плоскости, называемые по-другому декартовые).