

УО «Гомельский государственный технологический университет
имени П.О. Сухого»
Кафедра «Робототехнические системы»

Пособие
по дисциплине
«ОСНОВЫ РОБОТОТЕХНИКИ»

для студентов специальности
1-53 06 03 «Промышленные роботы и робототехнические комплексы»

Гомель 2022

ВВЕДЕНИЕ

Первые роботы были созданы в глубокой древности. Их непрерывное совершенствование продолжалось до наших дней, а в настоящее время робототехника достигла такого уровня, что роботы проникли во все сферы деятельности людей.

Сначала роботы наделялись качествами, присущими живым организмам. Так появились деревянный голубь, вращающийся на конце жерди, и взлетающий орел. Они перемещались за счет изменения направления струи воздуха. Затем были изобретены плавающие по окружности дельфины, управляемые потоками воды, и, наконец, статуи богов, движущие руками во время ритуальных служб жрецов в храмах

Создавая различные механизмы, человек стремился улучшить условия своей жизни. Для помощи в повседневной деятельности он хотел использовать механических людей с автоматическим управлением. Однако разрабатывать подобные устройства было исключительно сложно, а их изготовление стало возможным лишь через две тысячи лет с начала новой эры благодаря труду многих ученых и изобретателей.

Впервые механических людей начали применять на маяке, сооруженном на острове Фарос. Для безопасности мореплавателей на маяке установили четыре позолоченные женские фигуры. Днем они горели в лучах солнца, а ночью ярко освещались и были хорошо видны издалека. Через определенные промежутки времени статуи, поворачиваясь, показывали руками на циферблатах направление и силу ветра, отбивали склянки, а в ночное время издавали прерывистые трубные звуки, предупреждая о близости берега. Лучи маяка позволяли мореходам не только находить гавань, но и вводить в нее корабли. Он считался одним из семи чудес света. Около шестнадцати столетий возвышался на мысе Фарос Александрийский маяк, спасая от гибели сотни тысяч судов. После завоевания арабами Египта и Византии древние рукописи египетских и греческих ученых перевели на арабский язык. Но только в XI в. они были переведены на латинский язык и стали известны в Западной Европе. Талантливые европейские ученые и изобретатели, изучив эти рукописи, предложили человекоподобные механизмы (андроиды) для обслуживания машин и людей.

Первый такой андроид, изготовленный в Германии, не получил применения в ремесленном производстве. Его передали в монастырь для исполнения обязанностей привратника у архиепископа.

Второй андроид был собран в Испании. Он приводился в движение от пружинного завода. Разработчик предполагал использовать его в качестве слуги для закупки товаров на рынке и доставки их в дом хозяина. Но решить задачу устойчивого движения слуги при ходьбе не удалось. Потребовалось более четырех столетий, чтобы андроиды свободно зашагали по улицам.

Эпоха Возрождения вызвала бурный расцвет всех направлений науки и искусств. Появились новые типы андроидов, наделенных «интеллектуальными» способностями. Они могли соперничать лишь с хорошо обученными людьми, умеющими играть на музыкальных инструментах, писать и рисовать.

Во Франции были изготовлены флейтист, исполняющий довольно сложные мелодии, и свирельщик, играющий на свирели и в такт с музыкой ударяющий палочкой в барабан.

В Швейцарии создали механических людей, способных писать на немецком и французском языках и рисовать красивые картинки. Огромным успехом на демонстрациях пользовались механические музыкантши, играющие на органах и клавесинах сложные менуэты. Их движения во время игры почти не отличались от движений человека.

Большой успех механических людей и крупные денежные вознаграждения, получаемые их создателями, привели к появлению множества устройств, названных лжероботами. Наибольшей известностью пользовались «турок-шахматист», «игрок в карты» и «говорящая девушка», в которых интеллектуальные функции возлагались на спрятанного от посетителей человека, а вспомогательные — на манипулятор. Последовавшие разоблачения лжероботов помешали дальнейшему развитию робототехники. Поэтому только через 100 лет снова появились простейшие роботы, внешне похожие на человека.

Повышение уровня механизации производства и высокие скорости выполнения технологических операций потребовали создания разнообразных промышленных роботов. Сделать их похожими на человека оказалось слишком сложно, и инженеры приступили к конструированию манипуляторов, сходных с рукой человека и способных выполнять заданные последовательности действий. Управление такими роботами

осуществлялось с помощью цифровых электронных вычислительных машин, а исполнение различных операций обеспечивалось путем изменения программ. Оснащение современных роботов датчиками, приборами технического зрения и аппаратурой распознавания речи расширило диапазон обслуживания сложных технологических процессов. Для того чтобы манипуляторы принимали правильные решения, необходимо было перерабатывать большие массивы информации. В результате управляющие вычислительные машины стали намного сложнее. При составлении рабочих программ отказались от обычных алгоритмических языков и перешли к специализированным языкам или языкам высоких уровней.

История развития робототехники насчитывает три поколения роботов.

Роботы *первого поколения* часто называют программными. Эти роботы предназначены для выполнения запрограммированной последовательности операций по четкой программе, составленной с учетом требований того или иного технологического процесса.

Особенно эффективно применение роботов первого поколения при неизменных и строго определенных условиях эксплуатации. Поэтому они широко внедряются в производство при выполнении простейших операций сборки, установки, снятия, транспортирования и упаковки изделий. Однако благодаря простоте изменения программы, заложенной в память системы управления робота, возможно переобучение его путем перепрограммирования на выполнение другого класса операций.

Роботы *второго поколения* называют адаптивными. Системы управления этими роботами имеют более широкий по сравнению с программным набор датчиков информации о состоянии внешней среды и характеризуются большей сложностью. Алгоритм управления роботами второго поколения значительно сложнее, чем роботами с жесткой программой, и часто имеет ситуационный характер, что требует реализации его с помощью микро ЭВМ или микропроцессора. Благодаря широко развитому программному обеспечению, наличию совершенных устройств системы очувствления робота второго поколения способны приспосабливать свое поведение к изменяющейся обстановке.

Роботы *третьего поколения* называют интеллектуальными или разумными. Функциональные возможности этих роботов значительно расширены, от имитации физических действий человека до автоматизации элементов его интеллектуальной деятельности. По

сравнению с адаптивными роботами они характеризуются значительно более сложной системой управления, включающей элементы искусственного интеллекта. Благодаря этому интеллектуальные роботы способны воспринимать разговорный язык и вести диалог с человеком, распознавать и анализировать различные ситуации, строить модель внешней среды, обучаться навыкам, программировать движения, усваивать понятия, планировать поведение в разнообразных условиях эксплуатации. В настоящее время выпускается большое число робототехнических устройств, различающихся по компоновочным схемам и конструктивному исполнению.

Независимо от типа, класса, поколения и назначения промышленный робот имеет две основные части: механическую и систему управления. Механическая часть состоит из основания, с помощью которого робот устанавливается на пол вблизи основного технологического оборудования или монтируется на станине. Робот может также перемещаться относительно оборудования по рельсам портала или направляющим. Корпус конструктивно объединяет все органы робота, в том числе привод рабочих органов.

Исполнительное устройство робота — манипулятор — выполняет все двигательные функции, оснащено приводом и управляющим устройством. Роботы могут иметь два и более независимо или синхронно действующих манипулятора. Рабочий орган является составной частью манипулятора и предназначен для непосредственного выполнения предусмотренных действий. Рабочий орган может иметь разную конструкцию, которая иногда является решающим фактором при определении возможности использования робота, например для манипулирования хрупким, крупногабаритным или профилированным объектом. Устройство управления в соответствии с заданной программой формирует управляющее воздействие, которое передается исполнительному устройству и далее на приводы с помощью многожильного кабеля или пневмопровода.

1.АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ РОБОТОВ

Промышленный робот — автономное устройство, состоящее из механического манипулятора и перепрограммируемой системы управления, которое применяется для перемещения объектов в пространстве в различных производственных процессах.

Промышленные роботы (ПР) способны заменить человека там, где требуется тяжелый физический труд, в условиях с повышенными температурой и влажностью, вибрацией, шумом загрязненным воздухом, взрывоопасностью и радиоактивностью. Промышленный робот представляет собой перепрограммируемую автоматическую машину, способную выполнять аналогичные человеческим двигательные функции по перемещению предметов производства или технологической оснастки.

Роботы позволяют заменить монотонный физический труд, повысить качество изделий, увеличить их выпуск. Один робот может заменить труд четырех человек.

Накопленный опыт функционирования одиночных роботов, обслуживающих группы станков с числовым программным управлением и стандов для сборки, позволил перейти к поточным линиям, оснащенным большим количеством роботов, взаимодействующих между собой. Так появились первые автоматизированные производства, на которых не только изготовлялись отдельные сложные детали, но и производилась сборка машин. В таких производствах использовались несколько ЭВМ, соединенных в единую вычислительную систему, состоящую из микроконтроллеров или микропроцессоров, управляющих гибкими производственными системами (ГПС) и конвейерными поточными линиями. Достоинство подобных систем заключалось в возможности быстрой замены выпуска одних деталей или машин выпуском других без существенного изменения конфигурации и состава оборудования поточной линии. В настоящее время постоянно эксплуатируется большое количество различных ГПС и заводов с конвейерной сборкой машин. В ГПС получили широкое применение системы автоматизированного проектирования, технологической подготовки и автоматического управления производством (САПР). Это позволило объединить в едином рабочем цикле проектно-конструкторские работы, технологическую подготовку и автоматизацию производства без выпуска чертежной документации и технологических

карт. Реализация подобных циклов изменила облик производства, освободив инженеров от выполнения рутинных операций и предоставив им большие возможности для творческой деятельности.

Разработкой САПР занимались десятки тысяч высококвалифицированных системных программистов. Они создали сложные наборы программных пакетов в виде основных (базовых) модулей. С помощью этих модулей выполнялось построение пространственных геометрических моделей для проведения необходимого инженерного анализа с поддержкой в различных проблемных приложениях, генерирующих программы для технологической подготовки и автоматического управления изготовлением деталей и сборкой машин. С целью расширения возможностей пользователей САПР базовые модули дополнялись вспомогательными, позволяющими получать наилучшую конфигурацию программного обеспечения и упрощающими процедуры конкретного проектирования.

Современные САПР реализуются в локальных сетях, состоящих из нескольких суперЭВМ и большого количества рабочих станций, на которых одновременно в коллективном режиме работают инженеры-конструкторы, инженеры-технологи и экономисты, общающиеся друг с другом через дисплеи. Они быстро находят наилучшие согласованные решения, не дожидаясь окончания всех проектно-конструкторских работ, и запускают в производство детали, а также отдельные устройства.

В XX в. самый высокий уровень автоматизации был достигнут в автомобильной промышленности, ежегодно с конвейеров сходили десятки миллионов автомобилей. Первые ГПС и САПР прошли свою апробацию в автомобилестроении, затем они стали применяться в самолетостроении, ракетостроении и т.п. В результате широкого применения САПР накопились большие объемы баз данных, позволяющих упростить процедуры автоматизированного проектирования и управления производством. Это привело к созданию первых безлюдных предприятий.

Современные роботы, снабженные нейрокомпьютерами, могут опознавать изображения, понимать речь человека, принимать оптимальные решения, самообучаться. С ростом номинального быстродействия, увеличением числа внутренних связей и объемов памяти в локальных

нейрокомпьютерных сетях открываются неограниченные возможности совершенствования будущих производств.

Важным направлением в робототехнике является миниатюризация вычислительных и управляющих устройств. В последнее время на основе новых технологий удалось приступить к изготовлению микроэлектродвигателей, подшипников, механических передач и электронных устройств управления, имеющих микронные размеры. Сверхминиатюрные электродвигатели с высокими скоростями вращения роторов и миллионными долями Ватт потребляемой энергии используются в медицине для создания микророботов-хирургов, способных перемещаться в кровеносных сосудах и органах человека. Уже сейчас роботы-хирурги могут удалять тромбы из сосудов, камни из желчного пузыря, поджелудочной железы, почек и печени, восстанавливать внутренние повреждения в тканях без полосных операций.

Микророботы могут доставлять лекарственные препараты к органам человека, нуждающимся в улучшении физиологической деятельности. Замена в микророботах-хирургах режущих инструментов лазерными сделала возможным выполнение сложнейших операций. В XXI в. ожидается дальнейшее совершенствование микророботов-хирургов, и это полностью изменит облик современной хирургии.

Следующее фантастическое изобретение в медицине — это нанороботы размером в миллиардную долю метра, которые, попадая в сосудистую систему человека и сталкиваясь с болезнетворными бактериями, вирусами и клетками старения организма, будут заглатывать их целиком или, откусывая, поглощать по частям. Внутри нанороботов будут происходить процессы химического разложения микроорганизмов, а продукты распада будут выводиться через почки. Таким образом, появляется возможность продления жизни человека. Для управления передвижением нанороботов по кровеносным сосудам могут применяться нанокomпьютеры сдвигающимися стержнями, обладающими молниеносной быстротой срабатывания. Источниками питания для нанороботов и нанокomпьютеров станут глюкоза и кислород, содержащиеся в крови.

Следует заметить, что биологические аналоги нанороботов уже действуют в живых организмах. Некоторые микроорганизмы перемещаются в кровеносных сосудах с помощью двух спиральных жгутиков, которые

приводятся во вращение белковыми «роторами». Препарат бактериофаг, проникая внутрь болезнетворных бактерий, полностью их уничтожает.

Задачи создания нанороботов все интенсивнее занимают умы ученых во многих передовых странах мира, но серьезных практических результатов вряд ли можно ожидать в недалеком будущем.

С середины XX в. началось освоение околоземного космического пространства и планет Солнечной системы с помощью беспилотных, а затем пилотируемых летательных аппаратов. Роботы-манипуляторы, устанавливаемые на беспилотных посадочных модулях, брали пробы грунтов с Луны, Марса, Венеры и производили их физико-химический анализ. Полученные данные о составе грунтов передавались на Землю.

Две космические станции совершили посадки на Луну (первая — в море Дождей, а вторая — в море Ясности) и высадили там «Луноход-1» и «Луноход-2», каждый из которых имел дистанционное управление, осуществляемое из центра управления космическими полетами. Луноходы, двигаясь, периодически передавали изображения поверхности Луны и основные свойства грунта. Таким образом была исследована достаточно большая территория Луны.

Роботы-манипуляторы с дистанционным управлением устанавливались на пилотируемых орбитальных аппаратах многоразового действия «Спейс Шаттл». Эти роботы при подходе космического аппарата на близкое расстояние к спутнику захватывали его и помещали в грузовой отсек для ремонта.

Согласно программе «Аполлон», с 1969 г. по 1972 г. было осуществлено шесть успешных полетов, имевших исключительно важное значение в астрономии и освоении дальнего космического пространства. Исследования лунных образцов грунта, собранных космонавтами, показали, что в них содержится больше металлов с высокой точкой плавления (гафний, цирконий) и намного меньше с низкой точкой плавления (натрий, калий). Такое отличие лунного грунта от земных пород привело ученых к выводу о том, что Луна образовалась в более высокотемпературных условиях, чем Земля. Долго существовавшая гипотеза об отделении Луны от Земли оказалась полностью несостоятельной.

Поверхностный слой Луны содержит в больших количествах изотоп гелия-3, который может послужить идеальным топливом для будущих

термоядерных реакторов. На Земле крайне редко встречается гелий-3, и его добыча бесперспективна.

Применяемые в настоящее время роботы по их относительным размерам различаются в миллион раз. Через два столетия отношение их размеров будет равно триллиону. Когда-нибудь, спустя тысячелетия, роботы не будут иметь ограничений в своем развитии и станут обладать такими способностями, которые в настоящее время вряд ли можно себе представить.

2. ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1 Эпоха каменных инструментов (орудий труда).

Древние инструменты (орудия труда) представляли собой гальки, оббитые несколькими сколами с одного конца, а также отщепы, отколотые от этих галек. Поначалу при подобной обработке камня никакой системы в процессе скалывания не было — удары наносились беспорядочно. Но можно вполне реально представить себе, как у человека появилось сознательное желание обработать камень.

Ранний палеолит продолжался от возникновения первобытного человека до примерно 40-го тысячелетия до н. э. Этот промежуток времени делится последовательно на четыре культуры: дошелльскую (галечную), шелльскую (г. Шелль), ашэльскую (местность Сент-Ашэль), мустьерскую (пещера Ле Мустье).

Дошелльская культура представляет древнейший период в истории (ок. 2 млн — 400 тыс. лет назад).

Характерными для данного периода были грубые орудия из целых галек, грубо отесанных только с одной стороны, а также грубые массивные отщепы, получаемые при раскалывании крупных камней. Поэтому дошелльская культура и получила название галечной.

В **шелльской культуре** (ок. 400-100 тыс. лет назад) техника изготовления и использования первобытным человеком (синантропом) каменных орудий уже вполне сложилась. Материалом чаще всего служил кремь — достаточно распространенный и чрезвычайно твердый минерал, который мог раскалываться на тонкие пластинки (отщепы) с острыми краями, обладающими превосходными режущими свойствами.

Основным орудием труда было «шелльское рубило» — массивный камень миндалевидной, овальной или копьевидной формы с гладкой пяткой для упора ладонью и заостренной режущей частью. Рубило было универсальным по своему назначению и позволяло с помощью мощных ударов рубить, а также резать. Кроме того, оно было незаменимым оружием для охоты, при защите и нападении. Для изготовления рубила древний человек использовал обычно кремь, а также базальт, кварцит, порфир или окаменелое дерево.

Ашэльская культура (ок 100-40 тыс. лет назад)

Наиболее распространенным стал неандертальский тип, более близкий по своему физическому строению к современному человеку. Ученые-археологи относят орудия труда неандертальцев к так называемому мустьерскому периоду (по названию пещеры Ле Мустье во Франции). Изготавливались они в основном из пластин и отщепов, отколотых от исходного камня (ядрица или нуклеуса).

Использовались также кости и рога животных для производства мелких заостренных инструментов (орудий).

Неандертальцам пришлось жить в самые суровые времена — в ледниковый период.

Ашэльский человек наряду с техникой крупных сколов овладел также *техникой ретуши* (от фр. *retouche* — исправление), заключающейся в «исправлении» формы исходной заготовки путем отделения от нее мелких пластинок с помощью частых несильных ударов. Такая техника в сочетании с точностью нанесения ударов позволяла придавать орудиям более правильные геометрические формы, а их лезвиям — прямоту и остроту. Инструменты стали не только более изящными, но и меньшими по весу.

Огромную роль начал играть огонь, который ашэльский человек использовал не только для обогрева своего жилища, но и для защиты от хищников, а также для поджаривания мяса животных, съедобных плодов и корней. Но сами получать огонь люди палеолита еще не умели.

Резкое похолодание заставило человека изобретать одежду, в качестве которой использовались шкуры убитых животных, сначала в невыделанном виде, а затем человек начал осваивать и технологию выделки кож.



Рис. 2.1. Ручные рубила

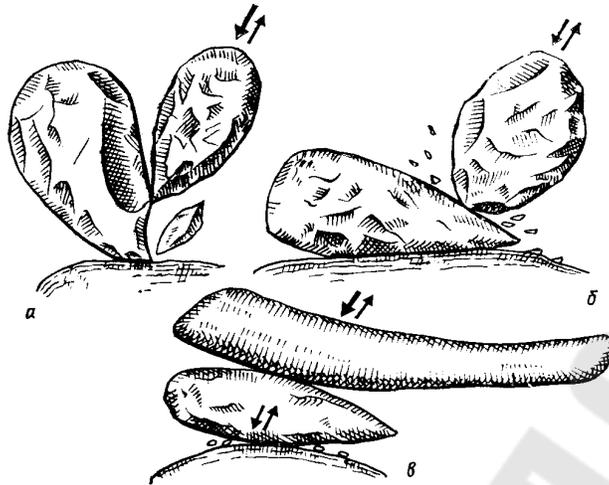


Рис. 2.2. Путем удара в каменном веке осуществляли изготовление каменных орудий: *а* — сколом крупных кусков; *б* — ударной ретушью; *в* — контрударной ретушью

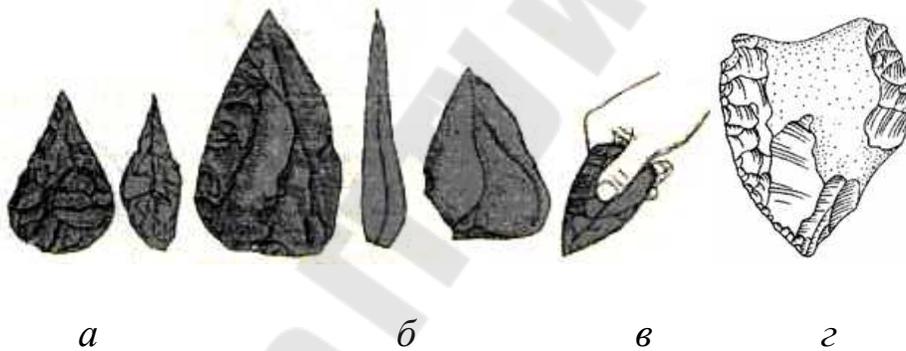


Рис. 2.3. Охотничьи инструменты эпохи раннего палеолита: *а* — ашэльского типа; *б* — леваллуазско-мустьерского типа; *в* — способ держания в руке; *г* - рубило выполненное человеком неандертальского типа (Подлужье, Чечерского р-на на Гомильщине)

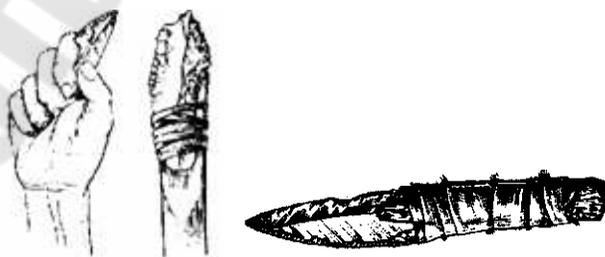


Рис. 2.4. Кремневые ножи (Юровичи, западная Гомельщина)

В обработке материалов появились новые приемы, например, сверление. Первоначально люди применяли одноручный способ

сверления. На смену ему пришел двуручный способ, когда между ладонями стал вращаться деревянный стержень с кремниевым сверлом.

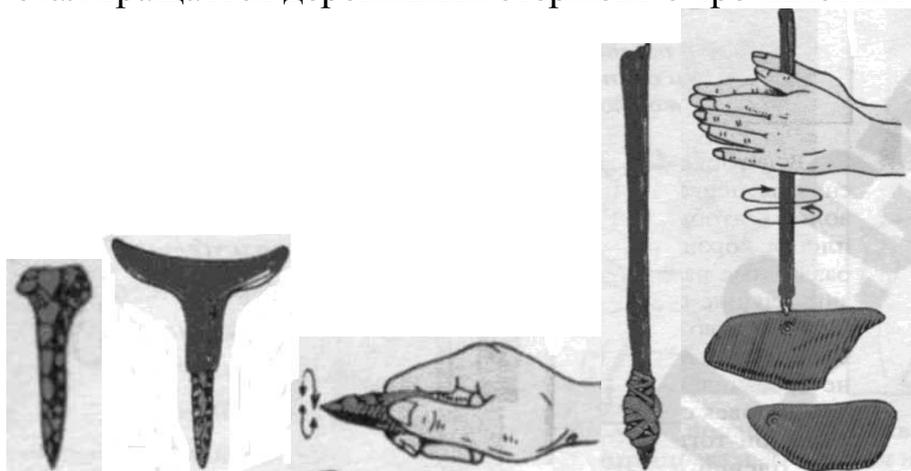


Рис. 2.5. Сверла и способы обработки ими

Из сверленного камня изготавливали в основном бусы и подвески. Более миллиона лет рубило не изменялось, оставалось небольшим по размерам, достигая в длину 12—15 см. Чтобы разбить камень или раздробить кость для добычи костного мозга, или выполнить другие необходимые действия, человек умелый, прямоходящий, должен был зажать рубило в кулаке.

Поздний палеолит (40 тыс. — 13 тыс. лет до н. э.)

Около 40 тыс. лет назад на Земле появился человек более совершенный, чем неандерталец — это был кроманьонец. В сущности, кроманьонцы были очень похожи на современных людей.

Кроманьонец вырубал большие участки леса под поля, выдалбливал из огромных стволов лодки, строил дома из бревен.

Люди пробовали разные *способы крепления рубила* для получения топора; вбивали в дубину один из заостренных концов камня, привязывая его сыромятными ремнями, вставляли камень в рукоятку, предварительно заполнив отверстие в ней клеящим веществом. Но только с изобретением приемов сверления удалось прочно закрепить рубило.

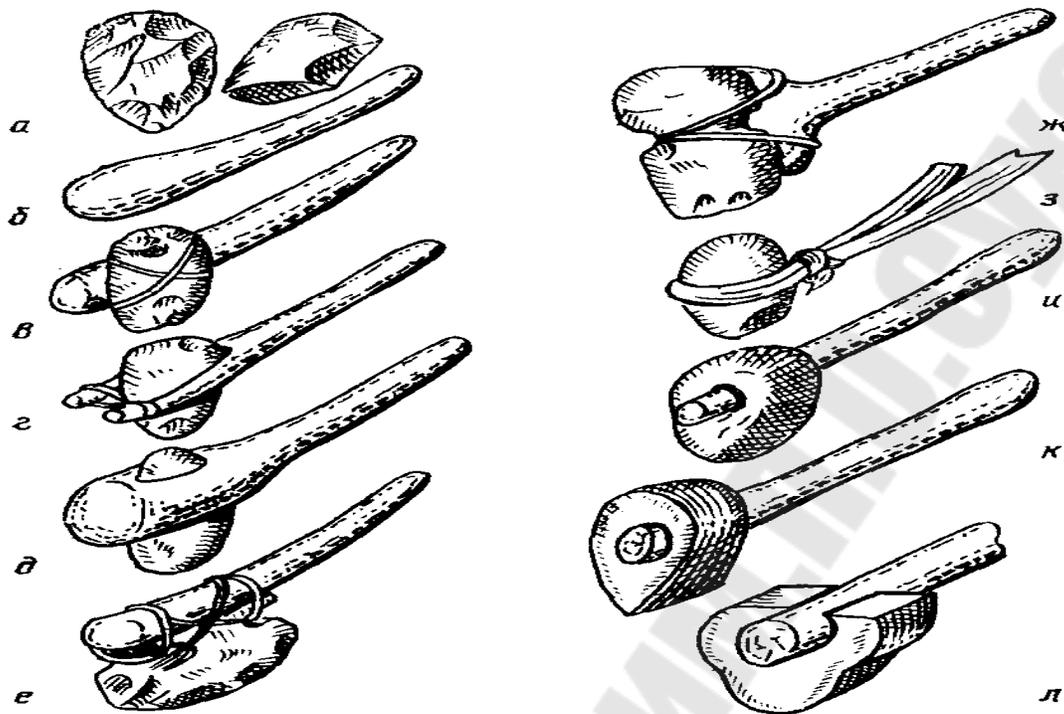


Рис. 2.6. Рубила и каменные топоры: рубило (а); палка-дубинка (б); камень привязан сбоку (в); зажат рогатиной (г); вбит в древко с утолщением (д); камень привязан в рукоятке с ее торца (ж); просто обвязан жгутом (з); в каменной или деревянной ударной головке сделано круглое отверстие (и); отверстие продолговатое (к); коническое и со срезом по плоскости (л)

Впрочем, шлифование, как и пиление, возникло лишь в этот период. Пилками разделяли на части мягкие поделочные камни, из которых затем изготавливались украшения. Шлифовка твердых пород была более трудоемким делом по сравнению с обивкой и потому требовала большей выдержки и терпения.

Орудия остались в основном каменными, но расширился круг материалов, из которых они изготавливались — это были гранит, сланцы, железняк и другие породы.

Усовершенствовалась и техника обработки камня. Теперь она позволяла получать длинные массивные орудия, похожие на ножи с односторонним лезвием, а также короткие скребки, резцы и другие инструменты.



Рис. 2.7. Способы обработки: а – строгание дерева, б – отжим обрабатываемых каменных заготовок

Наибольшее распространение получили инструменты для обработки кости и дерева — небольшие резцы, проколки, скребки, пластины с притупленным краем лезвия. Именно поэтому данную эпоху называют веком кости. Из кости и рога изготавливали проколки, иглы с ушком, гарпуны, наконечники мотыг и копий, кирки и т. п. Основными способами обработки кости и дерева были строгание и сверление.

Мезолит охватывает период с XIII до VI тысячелетия до н. э. В Европе и Азии климат потеплел, ледники отступили на север.

Культуры мезолита были обнаружены на всех континентах.

Пластины, напоминающие лезвие ножа, вставлялись в деревянную или костяную оправу, приклеивались асфальтом из естественных месторождений и использовались для разрезания. Такая техника получила впоследствии название микролитической.

Неолит, или новый каменный век (от греч. neos — новый + lithos) условно делится на ранний (6-4 тыс. лет до н. э.) и поздний (4-3 тыс. лет до н. э.).

Разделение труда и переход от присваивающего хозяйства к производящему ознаменовали наступление неолитической экономической революции.

К концу неолита закончилось развитие первобытной техники и начала складываться ремесленная, основанная на применении простых орудий.

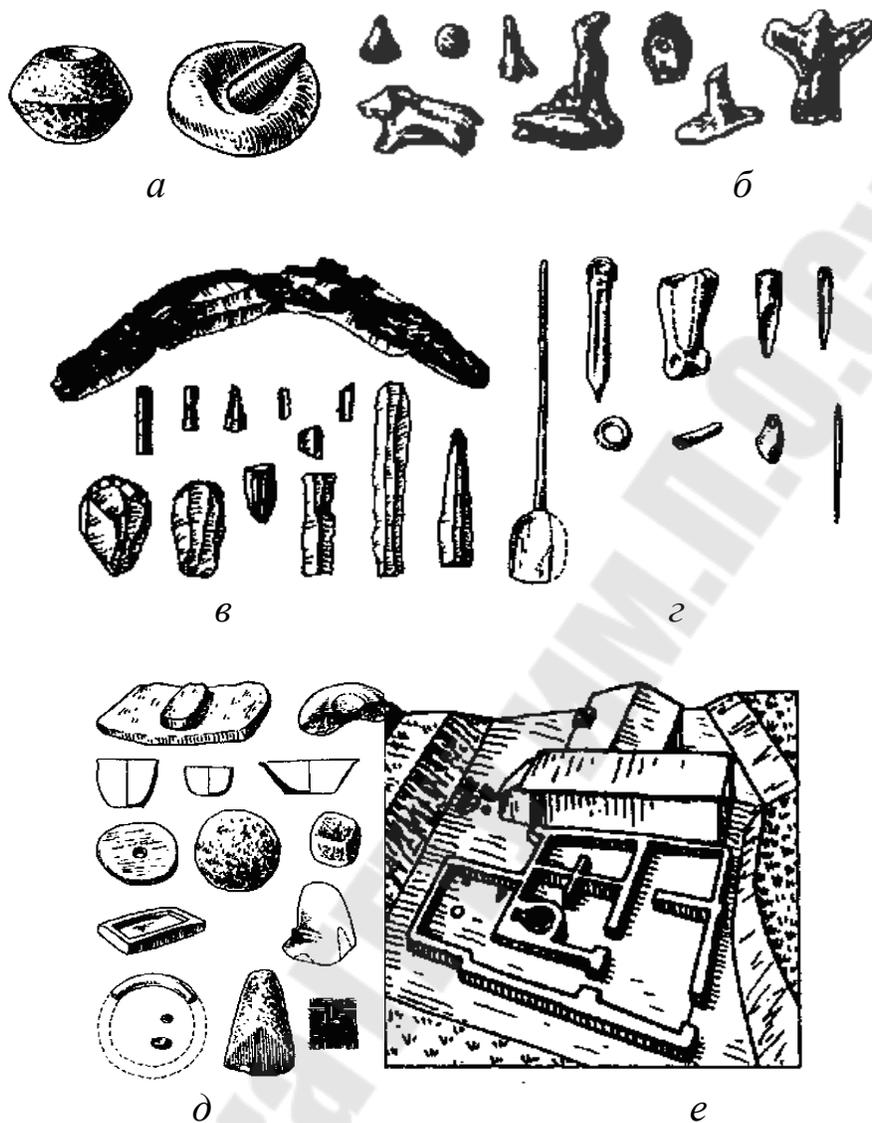


Рис. 2.8. Джармо, древнейший в Месопотамии центр земледелия (Ирак, 7 тыс. до н.э.): изделия из керамики (а), терракоты (б), кремня (в), кости (г), камня (д), дом (е)

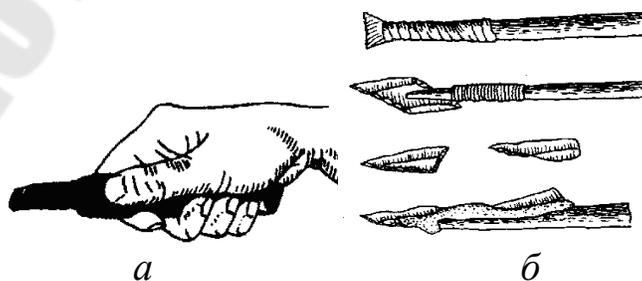


Рис.2.9. Инструменты, состоящие из микролитических пластинок, ножи и другие инструменты (находки на торфяных стоянках Гомельщины).

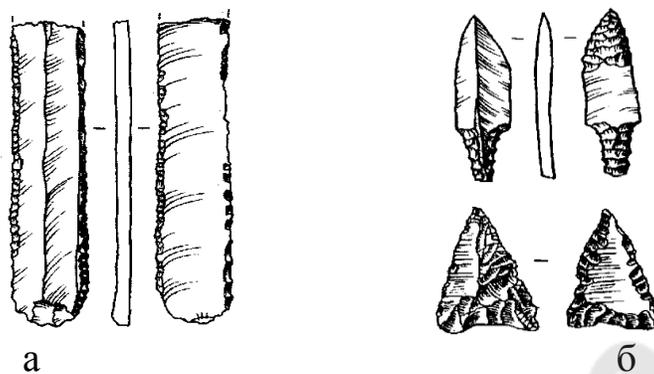


Рис. 2.10. Двухлезвийный нож (мезолит, северная Беларусь) (а), мезолитический листоподобный и неолитический наконечники стрел (б)

Длительная по времени история первобытной техники не знает точных дат открытий и изобретений — неизвестно, кто открыл огонь, изобрел топор, лук, колесо, лодку и пр. Многие из них многократно изобретались и забывались, пока окончательно не утвердились на практике, есть и такие, которые по сей день остаются невостребованными.

Наряду с кремнем стали использовать и новые виды каменных материалов, нефрит, диорит, яшму и др., а вместе с открытыми способами разработки — подземные с помощью шахт (нем. Schacht), Вначале это были просто глубокие ямы (до 10-15 м), потом вертикальные стволы с короткими горизонтальными выработками (штреками).

Для разработки камня использовались кирки, кайла и молотки из рога и камня, костяные заступы, лопатки и грабли, деревянные колья. Выемку породы производили в кожаных мешках и плетеных корзинах на веревках, а для подъема и спуска людей использовались лестницы. Искусственное освещение обеспечивалось с помощью жировых ламп, смоляных и берестяных факелов, а поступающую воду вычерпывали или создавали дренажные устройства. Таким образом, можно уже говорить о зарождении горного дела.

Шлифование, как и пиление, зародившееся в предшествующую эпоху, также подверглось значительному совершенствованию. Наряду с «сухим» появился способ «мокрого» шлифования, в котором использование воды обеспечивало не только охлаждение, но и самозатачивание абразивного инструмента и повышение интенсификации процесса резания.



Рис.2.11. Изделия из камня (Урук, шумерский город-государство в южном Ираке 4 – 1 тыс. до н. э.)

Для отделки украшений и доводки режущих лезвий деревообрабатывающего инструмента стала использоваться операция полирования.



Рис. 2.12. Инструменты для пиления в виде: раковин (а), натянутого шнура с подсыпкой песка (б), каменных пил (в)



Рис. 2.13. Изделия Харлапской культуры (Долина Инда, 3-2 тыс. до н. э.)

На смену ладонному способу вращения палочки при сверлении трением пришел более производительный способ вращения с помощью намотанного на него шнура, который дергали поочередно то за один, то за другой конец. А соединив концы веревки с помощью изогнутой палки в виде лука, человек получил возможность производить возвратно-вращательные движения сверла при помощи одной руки, высвободив вторую для вспомогательных действий. Так возник метод «лучкового сверления», просуществовавший вплоть до средних веков нашей эры.

И уже совсем недавно был изобретен способ реверсивного сверления, по кинематике весьма напоминающий лучковое и получивший широкое распространение в ручных дрелях, а при выполнении сверлильных работ в космосе ставший практически незаменимым.

Вслед за лучковым был изобретен метод «смычкового сверления», в котором возвратно-вращательные движения сверлу сообщались также при помощи шнура, но при этом один его конец наматывался, а другой сматывался с древка сверла с помощью возвратно-поступательных движений смычка в вертикальном направлении. В этом устройстве был воплощен принцип преобразования возвратно-поступательного движения в возвратно-вращательное. Воплощение другого важного принципа механики, накопления энергии, заключалось в установке на древко сверла тяжелого каменного или глиняного маховика. Опять же можно напомнить, что об этом изобретении древности вспомнили лишь в век паровых машин, сделав таким образом повторное открытие.

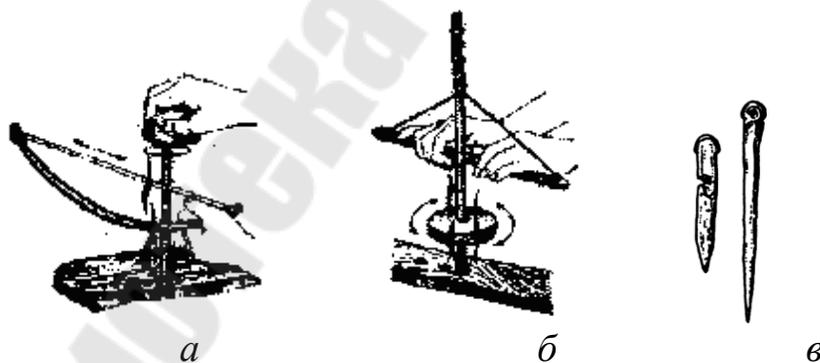


Рис. 2.14. Способы сверления отверстий: а, б – способы обработки отверстий, в – иглы с отверстиями (Месопотамия).

Но вершиной технической мысли неолитического человека явилось создание устройства для сверления, являющегося прообразом современного сверлильного станка.

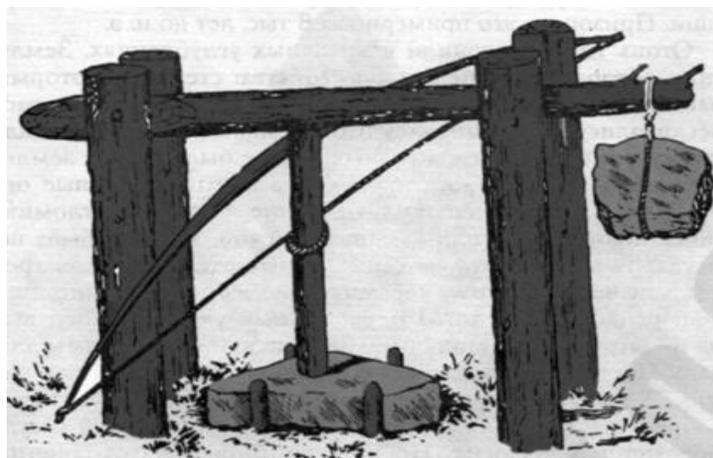


Рис.2.15. Первый станок

Сверление в мягких материалах производилось сверлами с кремневыми, а иногда и алмазными наконечниками, а в твердых — по-прежнему с помощью трения палочки. Как и в операциях шлифования и пиления для интенсификации процесса в зону трения периодически подсыпался свежий песок и подавалась вода.

При получении неглубоких отверстий часто использовались кольцевые инструменты из бамбука или трубчатых костей, позволявшие производить кольцевое удаление материала, оставляя среднюю часть удаляемого материала нетронутой. Этот экономичный метод сверления был затем вновь изобретен, но уже в XIX в., в частности для сверления орудийных стволов, а также получил широкое распространение в хирургии (операция трепанации черепа).

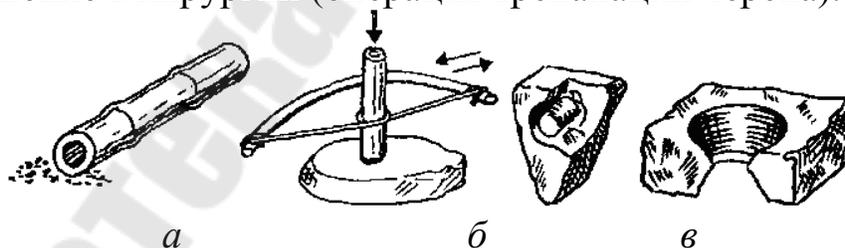


Рис.2.16. Получение отверстий в камнях бамбуковыми или костяными инструментами (а) и получаемые изделия (б, в)

Важнейшим изобретением, относящимся к области механики, было изобретение коленчатого рычага (кривошипа), который был потом положен в основу важнейших механизмов многих современных машин: кривошипно-шатунного, кривошипно-ползунного, кулисного и др. Но в своем первоначальном виде он вначале использовался в качестве

коловорота — простейшего устройства для сверления, которое и по сей день широко применяется в быту.

2.2 Античный период

В античный период всемирной истории преобладал рабовладельческий общественный строй. Он господствовал в Месопотамии (Шумер, Вавилон, Ассирия и др.), в Египте, Индии, Китае уже в IУ-II тысячелетии до н. э., в Закавказье (государство Урарту) в I тысячелетии до н. э., в Хорезме с VIII в. до н. э. по У-У1 вв. н. э., затем рабство развивалось в государствах Малой Азии, Египте, Македонии (IV-I вв. до н. э.). В Греции рабовладельческий способ производства достиг своего расцвета в У-1У вв. до н. э., а в Древнем Риме во II в. до н. э. — II в. н. э.

Развитие производства и рост городов стимулировали активизацию научных знаний и развитие математики, минералогии, астрономии, медицины и других естественных и точных наук. Для возведения гигантских пирамид, Великой китайской стены и других сооружений древности требовались прежде всего точные математические расчеты и хорошее знание механики.

На рубеже 4-3-го тысячелетий до н. э. появилось десятичное счисление, а к концу указанного периода — первые десятичные символы. Математика развивалась прежде всего за счет арифметики, необходимой для различного вида хозяйственных расчетов и геометрии — для земледелия.

Первым научным трудом по математике была «Арифметика», опубликованная в Китае во 2 в. до н. э. Затем появились работы по математике и механике Пифагора, Евклида, Аристотеля, Архимеда и других великих ученых древности. В обществе наметилось разделение между умственным и физическим трудом.

Календарь. Календарный год древних египтян, состоящий из 365 дней, расходился с астрономическим на четверть суток, поэтому времена года могли приходиться на разные месяцы. Новый год, возвещенный Сириусом, совпадал с началом астрономического года только через 1461 год, составляющий так называемый период Сотиса (греческое название Сириуса). Начало нового периода Сотиса, когда происходило исправление неточностей календарного года древних египтян, ученые относят к 2776 г. до н. э., — времени правления

фараона Джосера, а его верховным сановником был знаменитый астроном и строитель Имхотеп.

Устройства для определения времени. Первую попытку изобрести часы сделали египтяне, которые открыли звездные часовые карты: оказалось, что, наблюдая за появлением звезд, можно было ночью определить время. Позже египтяне придумали теневые часы для определения дневного времени: тень от поперечной балки в период от восхода до заката солнца постепенно пересекала ряд меток. Рекомендации по изготовлению таких часов найдены в гробнице фараона Сети I, правившего в 1337—1313 гг. до н. э. Эти часы были предшественниками солнечных часов.

Примерно в 1500 г. до н. э. египетский придворный Аменемхет, как свидетельствует надпись на его могиле, сконструировал водяные часы. По ним время можно было определить, наблюдая за падением уровня воды в сосуде. Часы такого типа оказались особенно необходимыми для жрецов, которым нужно было знать точное время, чтобы совершать обрядовые ритуалы и жертвоприношения. Самые древние из дошедших до наших дней водяных часов относятся ко времени правления Аменхотепа III (начало XIV в. до н. э.). Найдены эти часы в 1905 г. в Карнаке, на развалинах храма Амона-Ра.



Рис. 2.17. Солнечные часы с именем фараона Мернепта (Египет 2-е тыс. до н. э.)

Алфавит. Ученые предполагают, что приблизительно в начале II тысячелетия до н. э. предки финикийцев составили алфавит из штрихов. Видимо, они хорошо знали лингвистику, поскольку финикийский алфавит содержит 29 знаков, достаточных для выражения букв и звуков любого языка.



Рис.2. 18. Свитки из папируса

В течение VI—VII вв. до н. э. в Средиземноморье стали распространяться различные алфавиты — греческий в Эгеиде, этрусский — прародитель латинского алфавита — в Центральной Италии, и иберийский — в Испании и Португалии.

Бумага. В разные времена люди писали на разных предметах — костях животных, оленьих рогах, бамбуковых планках, папирусе, пергаменте и т. п. Все это, конечно, было далеко не идеальным материалом для письма. Положение коренным образом изменилось, когда была изобретена бумага. Самые ранние образцы бумаги были изготовлены в Китае в I в. н. э. Ее изобретение связано с шелком.

Женщины, занимавшиеся шелководством, варили коконы шелкопряда, а затем, разложив их на циновку, опускали в речную воду и перетирали до образования однородной массы. После них массу вынимали, отцеживали воду, в результате чего поручалась шелковая вата. Когда ее снимали, то на циновке оставался тонкий волокнистый слой, превращавшийся после сушки в слой очень тонкой бумаги. Отглаженный лист тонкой бумаги мог служить для письма. Это и была самая первая в мире бумага. Однако налаживание производства бумаги из отходов коконов шелкопряда ограничивала дороговизна самого исходного материала. Очевидно, было бы дешевле изготавливать бумажную массу из волокнистого материала растительного происхождения. Это натолкнуло талантливого китайца *Цай Луня* на мысль об использовании в качестве сырья стеблей бамбука, коры, конопли, тряпья, старых рыболовных сетей и в 105 г. н. э. он изготовил новый сорт бумаги из старых рыболовных сетей.

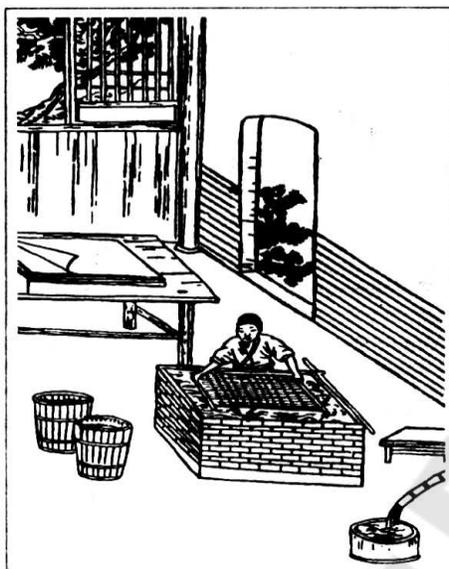


Рис.2.19. Получение бумаги (Цай Лунь)

После Цай Луня еще одним известным мастером по производству бумаги был *Цзо Бо*. Он усовершенствовал основные операции приготовления бумажной массы и стал делать бумагу еще более высокого качества. Исходным сырьем служили кора деревьев, рис, тростник, бамбук. Именно бамбук получил особенно широкое применение. Бумагу из него делали следующим образом: бамбук расщепляли на лучинки, замачивали с известью и полученную массу вываривали в течение нескольких суток. Отцеженная гуща после этого выдерживалась в ямах, тщательно размалывалась специальными ступами и разбавлялась водой до получения клейкой кашицеобразной массы, которую зачерпывали с помощью специальной формы — бамбукового сита, укрепленного на подрамнике. Тонкий слой массы вместе с формой клали под пресс, после чего форма вытаскивалась, а под прессом оставался мокрый бумажный лист. Спрессованные листы снимали с сита, складывали один на другой в кипу и отжимали, а потом сушили, разглаживали и резали.

Зарождение и совершенствование механизмов.

Блок. В Древнем Египте принцип рычага был взят за основу при создании *колодезного журавля* — *шадуфа*.

Затем был изобретен *блок* в форме колеса с желобом (ручьём) по окружности, через который перекидывали канат или другую гибкую тягу. Применение блока позволило изменять направление тяги и получать быстрый выигрыш в силе и скорости (рис. 2.20).

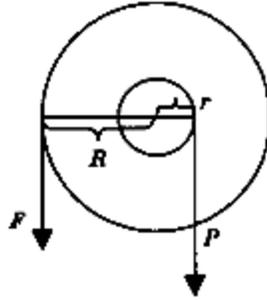


Рис. 2.20. Схема блока

Для подъема руды использовали ворот в подъемных механизмах. К равновесию ворота применимо условие равенства моментов сил $FR = Pr$, как и для рычага (рис. 2.20).

Первые свидетельства об использовании блока обнаружены на барельефе, найденном в Ассирии и относящемся к VIII в. до н. э. Появление блока вызвало полный переворот в строительном деле. Он позволил поднимать и укладывать на место камни с большим успехом, чем это делалось с помощью практиковавшегося в бронзовом веке способа их подъема по земляной наклонной плоскости и с последующим сбрасыванием на нужное место. К 450 г. до н. э. греки превратили блок в элементарный подъемник.

Роль Александрийской школы. Особенных высот к концу периода достигла наука Древней Греции, где сложились замечательные натурфилософские школы, пытавшиеся объяснить многие природные явления. Центром прикладной науки стала Александрийская школа, выходцами из которой были такие выдающиеся механики как Ктесибий, Архимед, Герон Александрийский и др.

Около 400 г. до н. э. Артих Таренский (428—347 г. до н. э.) изобрел винт. С того времени винт является основным крепежным элементом во всех конструкциях и механизмах. Приблизительно в 330 г. до н. э. грек Диадес впервые использовал роликовые подшипники. Применение этого изобретения в широком масштабе начинается только в XVIII в.

Катапульта-лук наподобие катапульты, изобретенной для Дионисия Старшего из Сиракуз в 399 г. до н. э. Стрелу шести футов длиной загружали в паз спускового желоба, тетива запиралась на месте захватом.

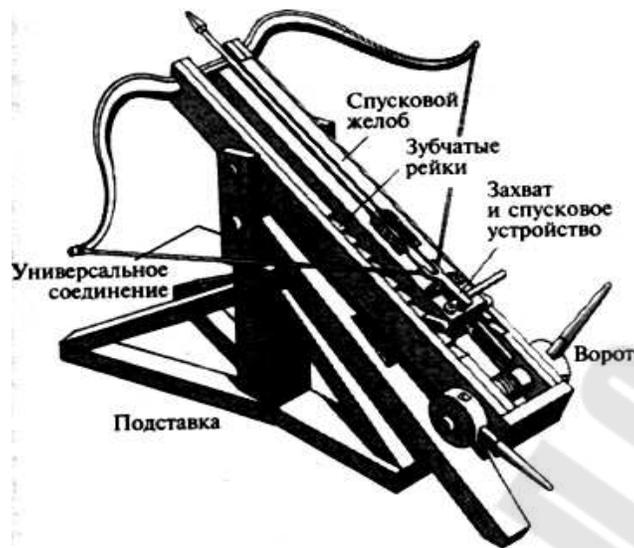


Рис. 2.21. Модель катапульти

Затем спусковой желоб оттягивался назад воротом, натягивал лук и фиксировался на месте приспособлением из зубчатых реек и крепежа. При поднятии захвата спусковое устройство посылало стрелу в цель. Универсальное соединение между подставкой и катапультий позволяло целиться в любом направлении.

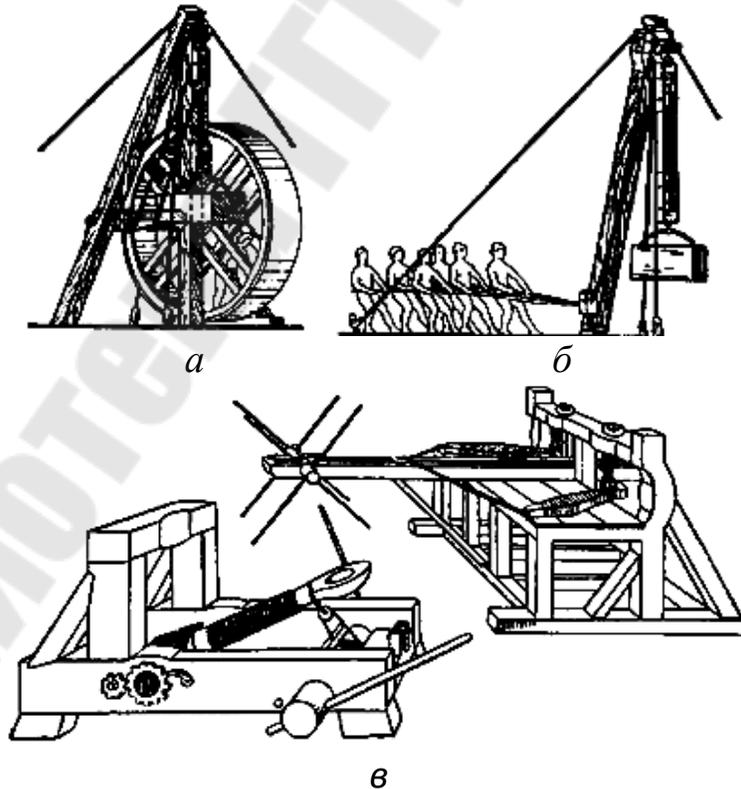


Рис. 2.22. Эскизы первых механизмов

Архимед - древнегреческий ученый, математик и механик (ок. 287-212 до н. э.) родился на острове Сицилия, в Сиракузах, но учиться поехал в Александрию.

В математике за 2000 лет до открытия интегрального исчисления он обосновал метод расчета параболического сегмента. Архимед впервые установил, что отношение длины окружности к диаметру одинаково для любого круга.

Первый закон гидростатики, открытый Архимедом, носит его имя — на тело, погруженное в жидкость, действует сила, равная массе вытесненной им жидкости. Сиракузский ученый открыл закон удельного веса (плотности) металла.

Архимед, страстно увлеченный механикой, создал теорию пяти «простых» механизмов: рычага, клина, блока, бесконечного винта и лебедки. Водоподъемный винт Архимеда, или «улитку» (рис. 2.23 а), египтяне использовали для полива садов, орошения полей в период полноводья Нила, а позже для откачки воды из рудников.

Изготовление «улитки» требовало меньших затрат дерева, чем водочерпального колеса (рис. 2.23 б), что было важно при дефиците древесины в восточных странах. Сегодня архимедов винт используется в обыкновенной мясорубке. На основе бесконечного винта были изобретены в то время такие важные, а ныне обычные детали, как болт, сконструированный наподобие винта, и гайка.

В 18 лет Архимед сконструировал подъемник в виде дощечки, висевшей на четырех шнурах, которая поднималась за счет специального колеса, проводимого в движении мышью. Подъемник Архимеда установили в башне городской стены, и с его помощью можно было поднять сразу десять человек, а в движение он приводился ступальным колесом.

При обороне Сиракуз во время второй Пунической войны Архимед сконструировал несколько боевых машин.

Для обороны от кораблей противника Архимед изобрел «железные лапы» (рис. 2.23 в).

Созданные Архимедом краны с петлями из железных цепей, огромными клещами, державшими камни, наносили жестокие удары по римским судам. Архимед изобрел перископ (*греч. periscopeo* — смотрю вокруг, осматриваю): устройство для наблюдения за поверхностью воды из

подводного положения — оптический прибор с системой зеркал или призм, позволяющий вести наблюдение из укрытия.

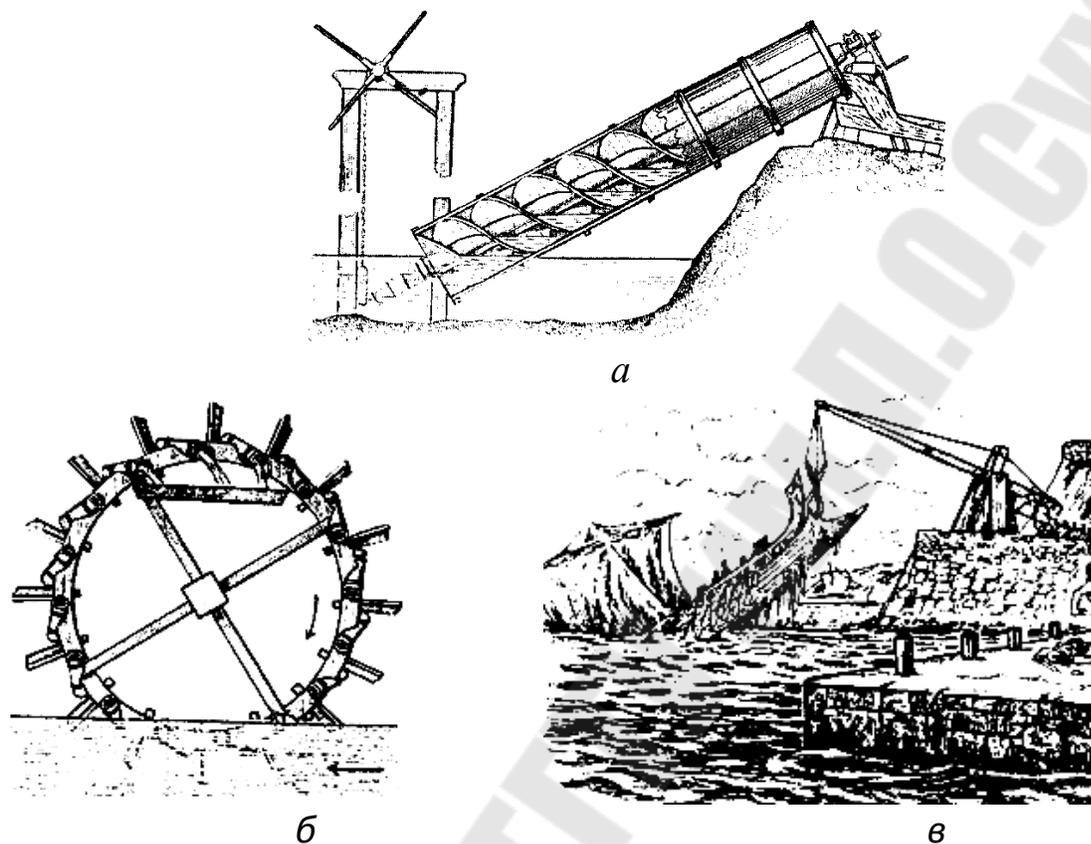


Рис. 2.23. Механизмы Архимеда

Ктесибий (III в. до н. э.) сделал немало крупных изобретений. Изобретение пневматики связывается с его именем. Он изобрел двухцилиндровый *пожарный насос* (рис. 2.24), который ни в чем существенно не отличается от современного. Насос был снабжен всасывающим и нагнетающим клапанами, воздушным уравнивающим колпаком и рычагом — балансиром для ручного привода. Ктесибием были изобретены *водяные часы*, *водяной орган*, а также *аэротрон* — военная машина, в которой роль упругого тела играл сжатый воздух. Как пожарный насос, так и аэротрон представляли собой цилиндр с движущимися внутри него поршнями. Это первое в истории техники упоминание о кинематической паре цилиндр—поршень.

Водяные часы (*греч.* *klepsydra* — *клепсидра*) были известны еще в XI в. до н. э., а в Греции с V в. до н. э. В часах Ктесибия вода через трубку медленно наполняла резервуар с поплавком. Фигурка на поплавке

указывала время по делениям, нанесенным на вертикальной шкале (рис.2.25 а).

Водные часы Ктесибия, на которых уже применен универсальный циферблат со шкалой, нанесенной на колонне. Поплавок с указателем мог двигаться вдоль вертикальной шкалы, которая была приспособлена учитывать и показывать различия по продолжительности или неравные зимние и летние часы. Колонна с циферблатом была установлена на пустотелом пьедестале, скрывававшем механизм. Кривые часовые линии, начертанные на колонне для всех 24 часов, были рассчитаны так, чтобы равномерное поднятие поплавка согласовывалось с неравномерными дневными и ночными часами в различные времена года. Для того что бы учесть эти вариации в часах, Ктесибий проводил часовые линии по спирали вокруг колонны – цилиндрического циферблата.

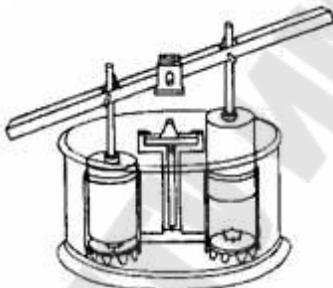
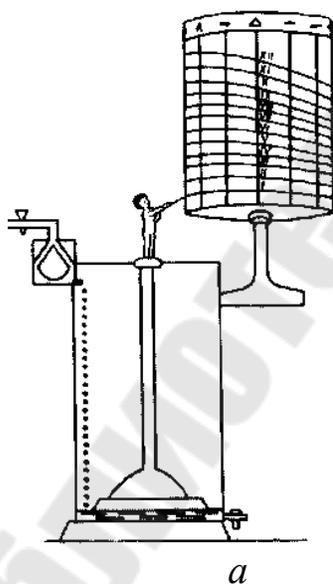
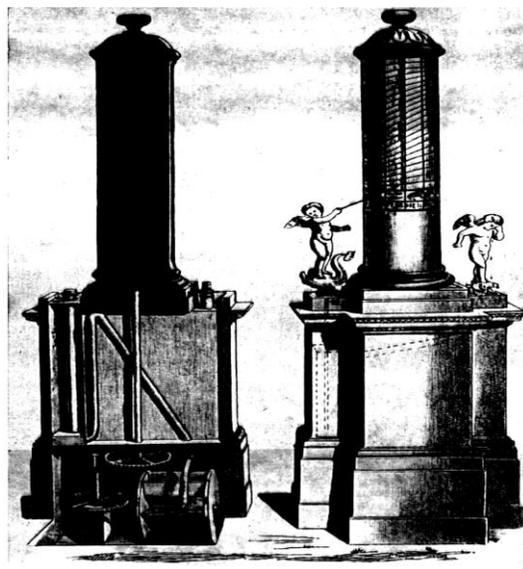


Рис. 2.24. Модель насоса Ктесибия



а



б

Рис. 2.25. Гидромеханические часы Ктесибия с передвижной стрелкой: схема (а), внешний вид (б)

Последний слегка поворачивался каждый день, причем так, чтобы в зимние месяцы указатель временно двигался над той частью циферблата, где линии дневных часов были близки друг к другу, линии ночных часов – дальше друг от друга, а в летнее время наоборот. У подножия колонны, находились два херувимчика. Правый изображал плачущего, слезы текли из его глаз и капали в водоем, постоянно заполняя цилиндр скрытый в пьедестале (рис. 2.25 б). Поршень в цилиндре поддерживал другого херувимчика. По мере того как вода постепенно заполняла цилиндр, этот херувимчик медленно приподнимался, и жезл, который он держал в руке, указывал время на циферблате. Когда наступал 13 –й час, сифон приходил в действие, что быстро опорожняло цилиндр, позволяя указателю времени опуститься. Вода из сифона лилась на большое водяное колесо, которое при помощи системы шестерен слегка поворачивало колонну, чтобы привести линии часов в должное положение для измерения временных интервалов следующего дня.

Ктесибий построил орган, действующий от воздушного насоса. Орган был снабжен устройством, помещавшимся под водой и позволявшим регулировать подачу воздуха в трубы.

Над потолком храма располагался кожаный мешок, прижатый сверху тяжелой каменной плитой. По мере наполнения мешка теплым воздухом плита поднималась, прикрепленный к ней рычаг вытягивал из дополнительной створки левую задвижку с широким отверстием. Когда отверстие задвижки совпадало с трубой, горизонтально расположенная доска при открывании дверей храма поворачивалась. С нее срывался груз. Правая задвижка взлетала вверх, воздух под давлением начинал выходить из шести раструбов, создавая громкие звуки.

Наличие раструбов разных размеров придавало звучанию красивую тональность. При охлаждении воздуха мешок сжимался, и плита, опускаясь, перемещала задвижку вниз. Подача воздуха к раструбам прекращалась, и «трубные гласы» замирали.

Филон (II в. до н. э.). Книга Филона «Механика», дошла до настоящего времени в хорошем состоянии. Помимо описания боевых машин, Филон обсуждает в ней теорию рычага и рассказывает об автоматах и автоматическом театре. В этой книге описано множество занимательных игрушек, предназначенных для развлечения гостей во время празднеств: кривые зеркала; сосуды, извергающие различные жидкости; фонтаны с пьющими животными и моющимися птицами; подвес, называемый сейчас

кардановым; автоматическое приспособление для подачи святой воды в храм и т. п.

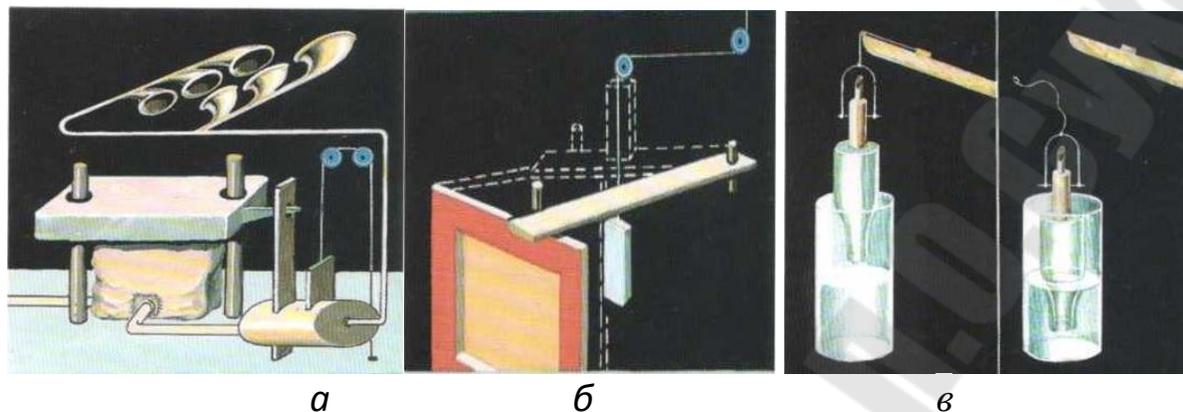


Рис. 2.26. «Трубные гласы»: *а* — с шестью раструбами и пневматическим регулятором, *б* — со свистком Ктесибия, *в* - два положения устройств свистка (слева до звучания, справа — после звучания); для наглядности бронзовые сосуды «прозрачны»

Одним из его изобретений была восьмигранная чернильница с отверстиями на каждой стороне. Можно было перевернуть восьмигранник любой стороной кверху — и чернила не проливались. Секрет заключался в том, что чернильница находилась в центре хитроумно установленных концентрических металлических колец, известных в 18 в. под названием "карданов подвес", и сохраняла устойчивость независимо от положения.

Во многих из этих механизмов искусно используется атмосферное давление и давление водяного пара. Кроме того, Филон прекрасно знал принцип действия сифона.

В своей «Механике» Филон описывает первый в истории термоскоп, который состоит из двух связанных трубкой сфер (рис. 2.27). Такие опыты и сейчас проводят в средней школе. Они демонстрируют тот факт, что Филон, а возможно и его учитель Ктесибий, опытным путем пришли к пониманию принципа теплового расширения.

Свинцовый шар А — пустой, шар Б содержит воду. Если шар А поместить на солнце или нагреть другим способом, то содержащийся в нем воздух расширится и, проходя по трубке, даст пузыри в сосуде Б. Если сосуд А охладить, то объем воздуха уменьшится, и вода из сосуда Б поднимется по трубке и перельется в сосуд А.

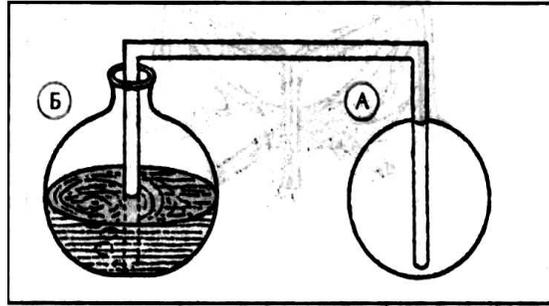


Рис. 2.27. Термоскоп Филона Византийского

Римский архитектор и инженер Витрувий (I в. до н. э.). Витрувий усовершенствует часы, которые устроены следующим образом (рис. 2.28 а).

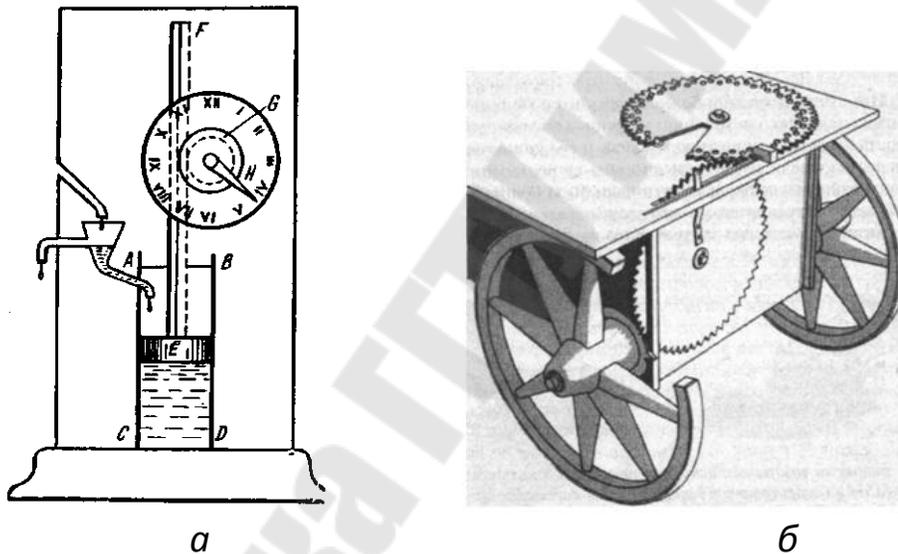


Рис. 2.28. Конструкция гидромеханических часов (а) и одометра (б) Витрувия.

В сосуд АВСД из резервуара поступает вода. В сосуде находится поршень с отверстием Е, шток которого на верхней части имел зубья, входившие в зацепление с зубчатым колесом G. На одной оси с зубчатым колесом была закреплена стрелка Н. Поршень за каждый час поднимался вверх и поворачивал колесо со стрелкой на одно деление. В этом механизме впервые приведена речная передача.

Одометр Витрувия (рис. 2.28 б), реконструированный Андре Слисвиком. Единственный зубец на ступице коляски поворачивает вертикальное зубчатое колесо на один ход при каждом обороте колеса. Подобная передача приводит в движение горизонтальное зубчатое

колесо, поворачивая его на один ход после каждых 400 оборотов колеса коляски, равных расстоянию в 5000 футов, или одну римскую милю. Для ясности, на рис. 2.28 б на колесной зубчатой передаче изображено менее 400 зубьев. Отверстия в верхней части предназначены для круглых камешков; после каждой мили один камешек падает в отверстие ящика (за вертикальным зубчатым колесом), фиксируя пройденное расстояние.

В конце I в. до н. э. Марк Витрувий написал «Десять книг об архитектуре», которыми пользовались по крайней мере 1500 лет. В десятой книге, где рассматривались инженерно-технические проблемы, дано, вероятно, первое определение машины.

Славу Ктесибия и Филона продлил *Герон из Александрии*, может быть, отчасти потому, что оставленное им обширное литературное наследие дошло до настоящего времени почти целиком. Он жил около I в. н. э. (точная дата неизвестна).

Всеобщее признание, особенно среди ученых эпохи Возрождения, получил двухтомный труд Герона о пневматике (учении о сжатом воздухе), в котором предлагается использовать свойство сжимаемости воздуха в различных приспособлениях, например, в знаменитом эолипиле, первой действующей паровой машине, отдаленно напоминающей современные реактивные турбины (рис. 2.29 а).

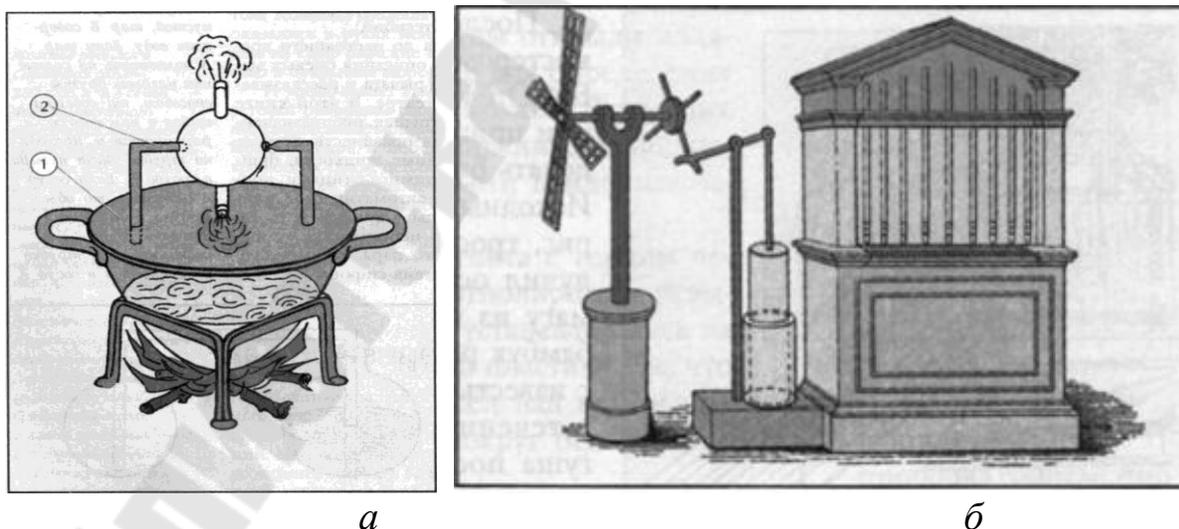


Рис. 2.29. Эолипил Герона (а): 1 — котел, 2 — полая трубка, подводящая пар к шару, закрепленному на оси; ветряная мельница Герона, приводившая в движение поршневой насос подающий воздух в музыкальный орган (б)

Пар выходит через две трубки, загнутые под прямым углом в противоположных направлениях, и шар приходит во вращение вокруг оси.

Другим устройством, изобретенным Героном, является ветряная мельница (рис. 2.29 б). В обоих случаях эти устройства можно было превратить в эффективно действующие двигатели (то есть они преобразовывали ветровую и тепловую энергии в механическую).

Ветряная мельница приводила в действие особое приспособление. При существовавшем тогда уровне знаний и технологий нельзя было превратить турбину в двигатель, а вот ветряную мельницу, вероятно, можно было бы построить.

Еще одно интересное изобретение Герона — годомер (*греч.* hodos — путь, *греч.* metreo — измеряю), прибор для измерения пройденного пути, (рис. 2.30 а). Годомер Герона состоял из системы зубчатых передач, приводившихся в движение при езде повозки. Пройденный путь фиксировался стрелками на циферблате с делениями. Кстати, зубчатая передача впервые появилась, вероятно, не ранее 500 г. до н. э. В этом механизме впервые приведены червячные передачи.

В числе изобретений Герона — гидравлический механизм (рис. 2.30 б), в который поступала вода до определенного трубкой уровня. При превышении этого уровня вода переливалась в нижнюю емкость и превысив вес груза приводила к его быстрому опусканию и повороту стойки с правой птицей, при этом правая издавала звуки.

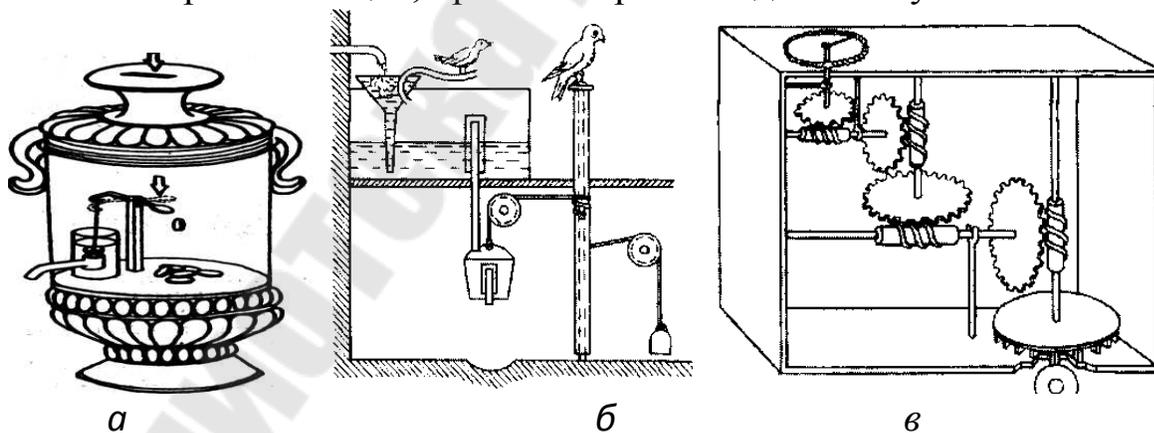


Рис. 2.30. Механизмы Герона: автомат для выдачи воды (а), механизм (б) и одомер (в)

Автомат для выдачи воды (рис. 2.30 в), работал следующим образом. Следовало опустить 5-драхмовую бронзовую монету в щель и взамен

получить немного воды для ритуального омовения лица и рук перед входом в храм. В конце дня жрицы могли забрать из автомата пожертвования.

Рассмотрим, как действовала система открывания и закрывания дверей храма (рис. 2.31). В вазе помещался медный поддон с легковоспламеняющимся порошком. Солнце нагревало днище поддона, и порошок в полдень воспламенялся. При облачной погоде раб, находящийся в подвале, подносил горячий факел снизу к поддону и поджигал порошок. После его воспламенения воздух в вертикально расположенной трубе расширялся и вытеснял воду из сферического бака. Вода по изогнутой трубке перетекала в бадью, подвешенную через шкив на канате.

После заполнения бадьи водой она начинала перемещаться вниз.

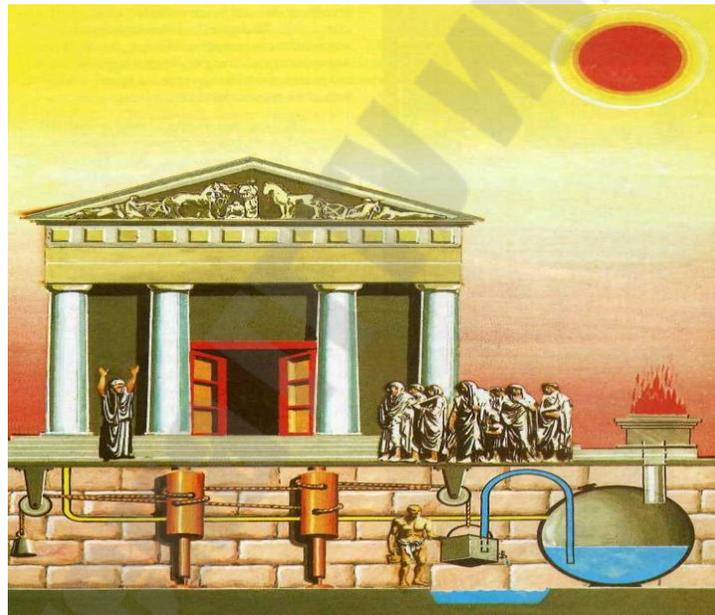


Рис. 2.31. Реконструкция устройства закрытия ворот храма

Канат, прикрепленный к ней, перемещался вправо и приводил во вращение в различном направлении два ворота, открывающие створки двери.

В центре самодвижущегося стенда Герона находится отсек (А), заполненный зерном (рис. 2.32 а). Когда пробку в дне открывали, зерно высыпалось в нижний отсек (В). По мере опорожнения верхнего отсека

большой груз (С), лежащий на зерне, опускался вниз, натягивая веревку на шкивах (D) и поворачивая колеса (E).

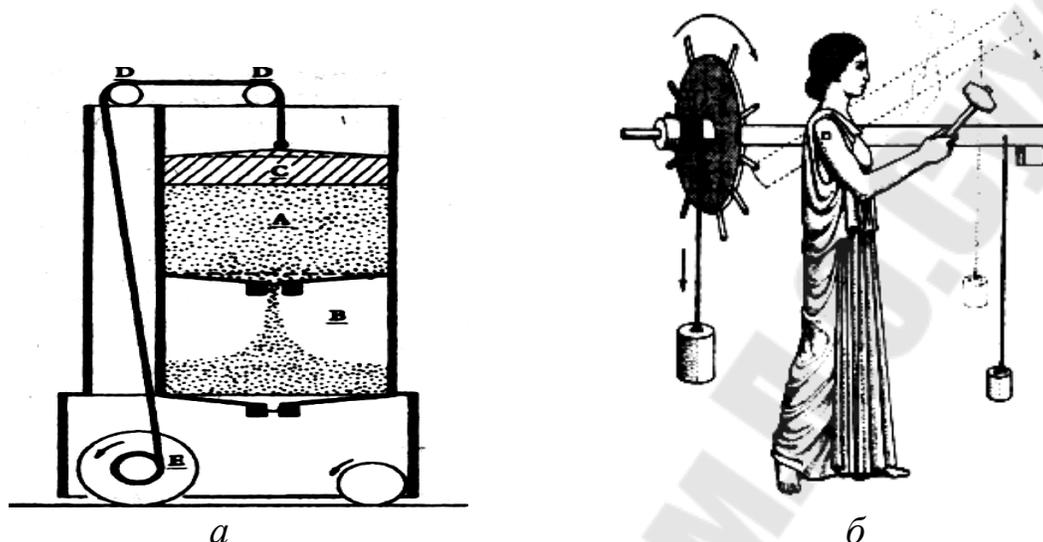


Рис. 2.32. Модели самодвижущегося стенда и кующей нимфы

Таким образом, когда груз опускался, стенд приходил в движение.

В механизме, который использовал Герон в своей миниатюрной пьесе "Навилий", требовалось чтобы фигурка нимфы работала молотком (рис. 2.32 б). Это обеспечивалось тем, что грузы, подвешенные к барабану, вращали его таким образом, что колышки колеса захватывали и опускали один конец рычага. Рычаг поворачивался вместе с осью, на которой (с другой стороны нимфы) была закреплена рука с молотком. Молоток поднимался. Затем колышек колеса соскальзывал с рычага и он под действием веса молотка поворачивался в исходное положение.

Александрийский маяк возвышался над уровнем моря более чем на 152 м и являлся самым высоким сооружением древности. Ученые и писатели оставили много воспоминаний о маяке острова Фарос.

Построил его Сострат из Книда для безопасности мореплавателей. Со стороны моря маяк стоял как неприступная крепость более 1380 лет. Таким образом, башня маяка простояла до середины XI в. и только после сильных землетрясений стала постепенно разрушаться. В 1182 г., по свидетельству арабов, нижняя часть башни возвышалась над подиумом не более чем на 30 м, а в 1303 г. она полностью исчезла. Волны моря уничтожили подиум, и великое сооружение древности погибло навсегда.

Через каждые полчаса для привлечения внимания мореходов статуи (нериды) «оживали» с помощью автоматических устройств. Одна из них

отбивала склянки, другая рукой показывала на стрелку, указывающую направление ветра, третья обращала внимание мореплавателей на скорость ветра. Четвертая нереида ночью и днем при туманах трубила в рог, предупреждая о близости берега и мелей. Благодаря сигналам нереид корабли могли успешно подходить к городу и безопасно входить в узкое гирло гавани.

Клепсидры Александрийского маяка были украшены барельефом химеры. Из пасти льва через золотую капиллярную трубку в ванну падали капли воды (рис. 2.33). По мере заполнения ванны падающими каплями поднимался водяной колокол 1. Следует отметить, что получение постоянного количества капель, падающих в ванну за один час, требует создания в верхнем баке спокойной поверхности жидкости. Это обеспечивается в том случае, если верхний бак имеет широкое днище и каждый раз через трубу большого диаметра происходит наполнение водой до одинакового уровня.

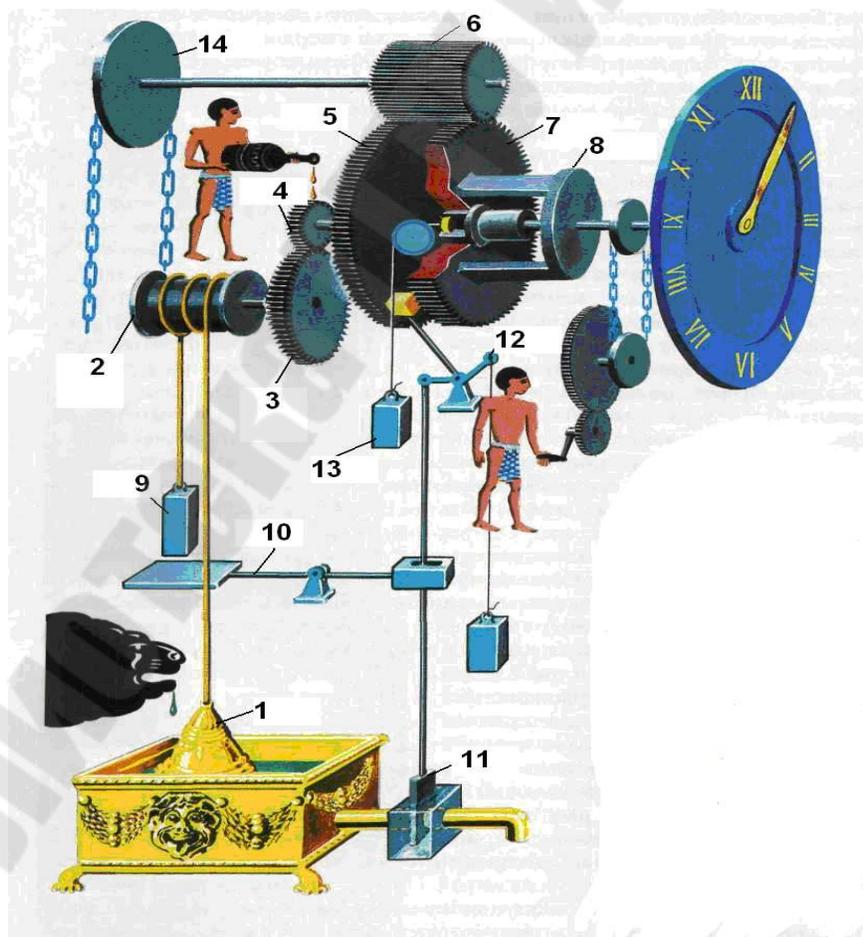


Рис. 2.33. Схема часов александрийского маяка

Связанный с колоколом канат медленно двигался вверх и приводил во вращение барабан 2, на одной оси с которым закреплено зубчатое колесо 3. Движение от него передается посредством зубчатых передач 5,6 и 6,7 на втулку 8, поворачивающую стрелку часов.

Довод часовой стрелки осуществлялся один раз в сутки в полдень по солнечным часам с помощью лебедки, приводимой во вращение человеком. От падения первой капли в ванну начинался отсчет времени.

В древние времена не существовало постоянной меры времени. Естественный день от восхода до захода солнца делился на 12 часов, т.е. шкала часов летом была более длинной, чем зимой. Из-за этого отверстие для выливания воды в верхнем сосуде летом делалось меньшим.

После окончания полусуток вода в ванне достигала наивысшего уровня. Тяжелый груз 9, уравнивающий колокол в своем крайнем положении, давил на левое плечо рычага 10. В результате его поворота из ванны вытягивалась заслонка 11. Одновременно изогнутый рычаг 12, поворачиваясь, перемещал вдоль оси шестерню 7 часового механизма вправо, выводя ее из зацепления с шестерней 6. Стрелка часов останавливалась. Вода из широкого отверстия ванны быстро вытекала и доходила до заданного уровня. Вместе с ней опускался колокол. Тяжелый груз 9 сразу же поднимался.

Правое плечо рычага 10 опускалось вниз, и заслонка 11 закрывала широкое отверстие в боковой стенке ванны. При этом изогнутый рычаг 12, поворачиваясь, занимал первоначальное положение. Под действием падающего груза 13 подвижная шестерня входила в зацепление. Затем стрелка часов вновь приводилась во вращение с помощью механизма клепсидры. Начинался отсчет времени следующих полусуток.

Устройство управления отбиванием склянок. Привод его осуществлялся от звездочки 14 (рис. 2.33) на звездочку 15 (рис. 2.34). На одной оси со звездочкой 15 установлен дисковый кулачек 16, поднимающий и опускающий рычаг 17, управляющий пневматическим распределителем 18 с силовым цилиндром 19 и кулисный механизм, расположенным под неридой.

Число зубьев в звездочках подбиралось таким, чтобы за один полный оборот стрелки часов нижняя звездочка 15 совершала три оборота. Иначе говоря, ее полный оборот происходил за четыре часа. При вращении кулачка 16 зубья набегали на рычаг. Он начинал совершать колебательные движения (вверх-вниз), поворачивая лопасть пневматического

распределителя теплого воздуха 18 сначала по часовой стрелке, а затем против.

Для отбивания склянок через каждые полчаса (от одного до восьми) зубья размещались на диске кулачка следующим образом. Один зуб находился под углом 45° , два — под углом 90° , восемь зубьев соответствовали углу, равному 360° . При пересчете в интервалы времени поворот диска на 45° совершался за 30 мин. Тогда кулачок поднимался и опускался по одному разу, а статуя производила один удар в колокол. Если угол поворота диска составлял 360° , то кулачок поднимался и опускался по восемь раз. При этом интервал времени составлял четыре часа, а статуя била восемь раз в колокол.

Голубой циферблат часового механизма (см. рис. 2.33) диаметром в шесть метров прикреплялся к стене башни на высоте немного более 130 м. Цифры на циферблате и часовая стрелка покрывались позолотой и были видны на больших расстояниях в широком диапазоне углов зрения с кораблей, подплывающих к маяку с различных сторон, в створе действия световых лучей маяка.



Рис. 2.34. Устройство управления неридами александрийского маяка

Значительная масса статуи привела к необходимости установки не скольких опорных роликов с осями, параллельными плоскости пола. Кроме того, в устройство поворота была введена ось большого диаметра с подпятником, уменьшающим нагрузку на вращающийся ролик и исключаяющим его заклинивание.

Другая nereida, поворачиваясь, трубила в рог, предупреждая мореходов об опасности. Для получения прерывистости звучания применялись два воздушно-водяных свистка Ктесибия, управляемые от механизма поворота статуи. При ее вращении в одну сторону звук издавал первый свисток, а в другую — второй. Свисток находился в левом положении перед началом звучания, а в правом — в процессе звучания.

При повороте статуи рычаг поднимался, веревка срывалась и повернутый горловиной вниз сосуд падал в воду. От подъема воды в сосуде воздух сжимался и, проходя через свисток, издавал продолжительный низкий звук. Затем рычаг опускался и специальный механизм снова накидывал на него веревку. Когда рычаг поднимался, свисток был готов к повторному применению. При плохой погоде и ночью статуя непрерывно трубила в рог.

Театры всех типов Герон описал в своей книге «Театр автоматов». Она дошла до нас в оригинале, переписанном на греческий и арабский языки. Но, к величайшему сожалению, все чертежи были потеряны. Их смогли восстановить лишь в XIX—XX вв. ученые Т. Бек и А.И. Сидоров. Результаты их деятельности позволили современным инженерам оценить гениальность специалистов далекого прошлого.

Не только механики александрийской школы изобретали новые механизмы. Так механизм коляски с фигуркой указывающей на юг известна в Китае (рис. 2.35).

Тщательно изучая литературные памятники, обнаружили, что самое древнее упоминание о такой коляске, указывающей на юг, восходит к III в. н. э. Человеческая фигурка наверху всегда "знала", где находится юг, так как была связана с колесами сложной цепью приводов, похожих на привод современного автомобиля. Такие зубчатые передачи, известные сегодня как дифференциальные, позволяют колесам автомобиля двигаться с разной скоростью (одному из них приходится проделывать путь больше, чем другому), хотя и работают они от одного двигателя.

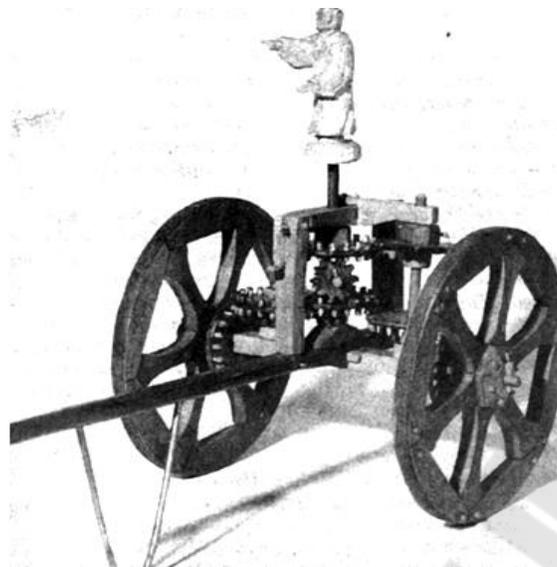


Рис. 2.35. Реконструкция коляски с фигуркой, указывающей на юг (Музей науки, Лондон)

В таинственной древнекитайской коляске использовался тот же принцип с приводами, которые преобразовывали разницу в скорости колес, если коляска изменяла направление движения. Однако, как указывал Нидхэм, подобный механизм мог работать, только если каждая деталь была изготовлена с высочайшей точностью.

В коллекции Иракского музея в Багдаде есть небольшой незамысловатый глиняный кувшин, который несмотря на свой невзрачный вид археологической наукой был назван самой удивительной находкой времени Парфянского царства (примерно 250 г. до н. э.—250 г. н. э.). Он состоял из медной трубы с одним закрытым концом, железного прута и несколько осыпавшихся кусочков битума (асфальта) (рис. 2.36).

Заинтригованный отчетами о находке физик Уолтер Уинтон из Британского музея в Лондоне приехал в Багдад и осмотрел кувшин. Он был поражен: "Добавьте немного любой кислоты или даже уксуса в медный сосуд, и вы получите простой элемент, генерирующий электрический ток. Несколько таких элементов, если их соединить в ряд, могут стать аккумулятором, который даст достаточно тока, чтобы зазвонил колокольчик, зажглась лампа или заработал небольшой электрический двигатель".

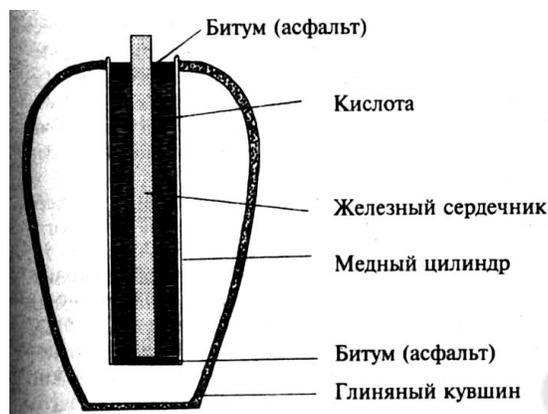


Рис. 2.36. Модель древней "багдадской батарейки "

Немецкий археолог Вильгельм Кёниг, заведовавший лабораторией Иракского музея, в 1938 г. изучил "багдадскую батарейку" и решил, что ток, производимый этими элементами, соединенными последовательно в ряд, мог использоваться для гальванизации металлов. Напряжения экспериментальных моделей было достаточно для такой работы. Примитивный метод гальванизации все еще используется местными умельцами в Ираке для покрытия медных ювелирных изделий тонким слоем серебра. Возможно, этот метод на протяжении веков передавался из рук в руки во времена Парфянского царства или до него.

Проблему сделать *доспехи* более легкими и эластичными взялись решать, по-видимому, одновременно в Древнем Китае и Египте. Чешуйчатые панцири из бронзовых пластин были найдены в китайских могилах (около 1400 г. до н. э.).

Примерно в это же время бронзовые чешуйчатые панцири уже изготавливались в Египте, некоторые из них найдены во дворце фараона Аменхотепа III в Фивах. Были ли оба изобретения действительно сделаны независимо друг от друга, сказать трудно.

После замены бронзы на железо около 1000 г. до н. э. появились первые железные чешуйчатые панцири, похожие на те, что использовались в течение последующих 2500 лет в Старом Свете.

Железные чешуйчатые панцири середины IX в. до н. э., наверное, самые древние. Они были найдены археологами в столице Ассирии Нимруде, Ирак. На рельефах того времени изображались ассирийские воины, одетые с головы до ног в тончайшие чешуйчатые панцири, они очень похожи на средневековых рыцарей-сарацин.

Как и чешуйчатый панцирь, кольчуга из небольших металлических колец, каждое из которых связано с двумя в верхнем ряду и двумя в нижнем, появилась, по-видимому, почти одновременно в разных регионах. Кольчуга обеспечивала воину большую подвижность, чем чешуйчатые доспехи.

Свидетельством самой древней кольчуги на Западе является триумфальная скульптура II в. до н. э. в Пергаме, Турция.

На терракотовых фигурах воинов, охранявших могилу первого императора Китая Цинь Ши-Хуанди (221—210 гг. до н. э.) видны семь различных типов плащей-кольчуг.

Самым удивительным новшеством в истории вооружений было использование древними китайцами бумаги для производства доспехов. В VI в. до н. э. они изобрели технологию изготовления одежды из бумаги шелковицы (тутовое дерево), которую со временем стали использовать для военного обмундирования. К IX в. до н. э. губернатор Су Шан из Хотуна, провинция Шэньси, содержал регулярную армию из 1000 солдат, одетых в доспехи из толстой плиссированной бумаги, которую не могли пробить стрелы — настолько хитроумно были сконструированы слои бумаги.

Одним из интересных механизмов является канделябр (6 в до н. э.), позволяющий изменять расположение фигурки (рис. 2.37 а).

В этот период известна римская мельница, приводимая в движение системой колес и падающим потоком воды (рис. 2.37 б).

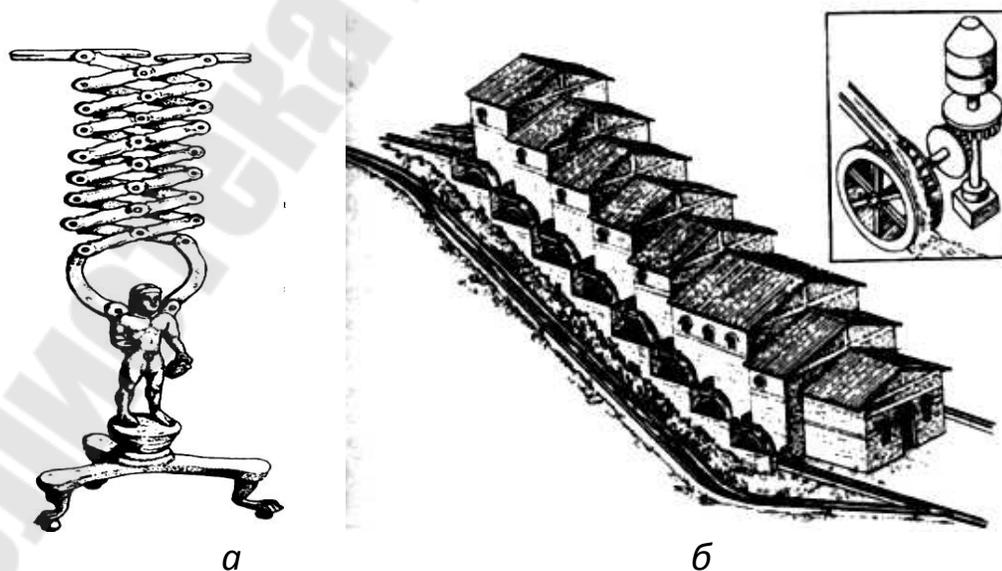


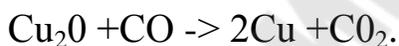
Рис. 2.37. Канделябр (VI в. до н. э.) с подвижным верхом, сделанный этрусскими мастерами из Центральной Италии (а), римская мельница в Барбегале (б)

Ее 16 черпаковых колес обеспечивали мощность свыше 30 лошадиных сил, необходимую для проворачивания жерновов. Вода, подводимая вверх на мельницу по акведуку, направлялась по лоткам через систему колес. Поток мог регулироваться посредством использования внешнего желоба в качестве водослива. На рисунке в рамке показано, как энергия воды передавалась жернову через цевочную передачу.

2.3. Получение металлов

Медь. В седьмом-пятом тысячелетиях до н.э. на Ближнем Востоке начали получать медь путем ее восстановления из окисных (куприт Cu_2O), карбонатных (малахит $\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$) и сульфатных (медный колчедан CuFeS_2) руд.

Процесс восстановления начинался при температуре $700\text{--}800^\circ\text{C}$, которую можно получить в простом костре:



Поднятую на поверхность земли руду дробили и перебирали вручную. Далее ее обжигали на костре и плавил в ямах или на земле в смеси с древесным углем. Ямы же достигали глубины 75 см. Чтобы поддерживать там нужную температуру, необходимо было все время раздувать в горне пламя. Сначала это делали два человека, стоявшие возле очага. Каждый из них держал в руках трубку — нижний конец в огне, верхний — во рту. Чтобы трубки не нагревались слишком сильно, на нижнюю часть надевали внизу небольшой глиняный мундштук.

Египтяне придумали приспособление, которое заменило человека, — это были меха. К отверстиям двух кожаных мешков — бурдюков — крепились трубки и веревки. Человек стоял на мехах и нажимал ногой на один из бурдюков — из него выходил воздух, который и раздувал огонь (рис.2.38, верх слева). Одновременно с этим человек поднимал другую ногу со второго меха и тянул его за веревку. Отверстие в мешке открывалось, и воздух заполнял бурдюк. Так, переминаясь с ноги на ногу, человек раздувал огонь. Нагнетаемый мехами воздух разогревал печь до температуры $700\text{--}800^\circ\text{C}$, достаточной для плавки меди из руды. После остывания металл дробили на куски. Для придания нужной формы использовалась ковка сырцово́й меди. При ковке молотом медь уплотнялась и освобождалась от грубых примесей.



Рис. 2.38. В древней кузнице. Слева: ножные меха (Египет, 3-е тыс. до н.э.)

Металлические изделия раньше использовались главным образом для украшений. В IV тысячелетии до н. э. появились первые металлические инструменты, изготовленные из меди. И хотя в этот же период человек начал разрабатывать месторождения медных руд (например, на Балканах), медные инструменты были еще редки, а металл — мягок, поэтому медные инструменты не могли вытеснить своих старших и более твердых «собратьев» из камня и применялись наравне с ними.

Уже древние египтяне владели искусством покрытия меди серебром и золотом. Еще за 3 тыс. лет до н. э. для покрытия деревянных изделий использовалась тонкая листовая медь, причем прикреплялась она тонкими медными гвоздиками. Поэтому не удивительно, что египтяне соорудили покрытый листовым золотом саркофаг длиной 185 см, в котором лежала мумия Тутанхамона.

Для получения изделий из меди литьём, в начале изготавливали литейную форму, для этого ранее сделанный предмет (модель) вдавливался в мокрую глину. Полученная форма обжигалась в печи. После отливки изделие подвергали обработке. Для снижения хрупкости меди проводили отжиг или отпуск изделий, т. е. нагрев до 500-700 °С. Тогда же было впервые освоено литье в разъемных двусторонних формах.

Около 3000 года до н. э. было сделано несколько важных изобретений. В Месопотамии изобрели довольно остроумный способ литья: из воска изготавливалась модель нужной формы, затем ее обмазывали слоем глины и ставили в печь для обжига, где воск, плавясь, вытекал, а глина затвердевала и превращалась в литейную форму. В нее

заливали расплавленный металл, а после его остывания глиняную форму разламывали.



Рис. 2.39. Шумерский медный топор

При замене каменного топора на медный скорость рубки увеличилась примерно в три раза. Стали использовать медь для изготовления новых видов изделий: труб, гвоздей, проволоки и пр., а также более совершенных инструментов: ножей, топоров, деревообрабатывающих инструментов и др. предметов быта и оружия, наконечников копий, рыболовных крючков, игл и т. д.

Бронза. Медь, как известно, является мягким металлом, а потому инструменты, изготовленные из нее, недолговечны. Естественно, люди искали ей замену. Сначала это был сплав меди с мышьяком — мышьяковистая бронза. Из нее делали инструменты более прочные, чем из меди. Но этот состав оказался очень вредным, и причиной тому была новая добавка к меди.

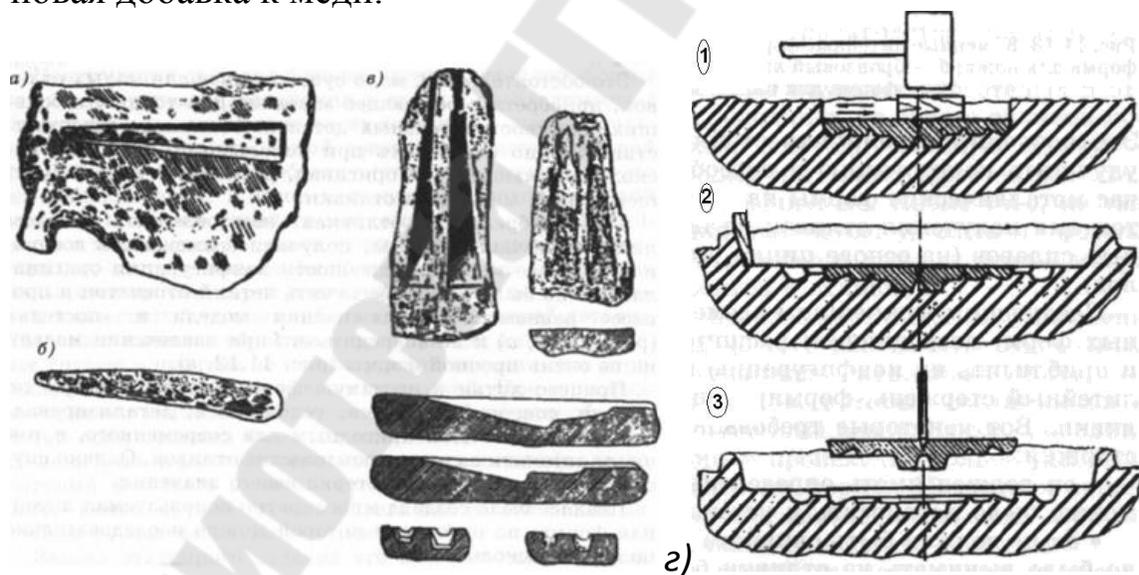


Рис. 2.40. Литейные формы : *а* – открытая каменная форма для ножа, *б* – бронзовый литой нож, *в* - закрытая форма для топора, *г* – схема изготовления открытой формы в почве (1- осаживание модели, 2 – отделка верхней части формы, 3 – извлечение модели)

Человек познакомился, с бронзой, по-видимому, в третьем тысячелетии до н.э.: именно так датируют ученые самые ранние бронзовые изделия, найденные в Иране, Турции, Месопотамии. Бронза была важнейшим материалом до начала первого тысячелетия до н.э., т.е. более двух тысяч лет. Примесь олова делает медь более твердым, легкоплавким и красивым металлом. Обладая более низкой температурой плавления (800 -1000 °С вместо 1083 °С у чистой меди), бронза менее подвергалась окислению, превосходно отливалась, ковалась и шлифовалась. Благодаря этим качествам сплав получил широкое распространение.

Предположительно, первая оловянистая бронза была получена в северо-восточной части Ирана, где находились месторождения медной и оловянной руд.

С III—II тысячелетия до н. э. бронза становится основным материалом для производства инструмента, оружия, посуды, украшений. Но люди еще долго продолжали использовать медные и даже каменные инструменты.

Около 2200 г. до н. э. в Египте использовался классический сплав бронзы — 90 % Cu и 10 % Sn, что свидетельствует о развитом плавильном деле и умении контролировать процесс плавки.

Уже в раннем бронзовом периоде (около 3 тыс. лет до н. э.) ремесленники Древнего Египта и Месопотамии производили весьма разнообразные предметы очень высокого качества. Кузнецы изготавливали различные инструменты: топоры, тесла, стамески, долота, сверла, ножи, пилы, а также гвозди, скобы, иглы, бритвы, пинцеты и др.

В причерноморских степях были найдены шлемы скифских племен (праславян называли скифами) не менее 2,5-тысячелетней давности. Несмотря на тяжеловесность, шлемы впечатляют своим строгим изяществом. Они были изготовлены бронзовым литьем и ковкой.

Предки славян, расселившись по Восточной Европе, занимались земледелием, скотоводством и имели бронзовые и каменные орудия труда.

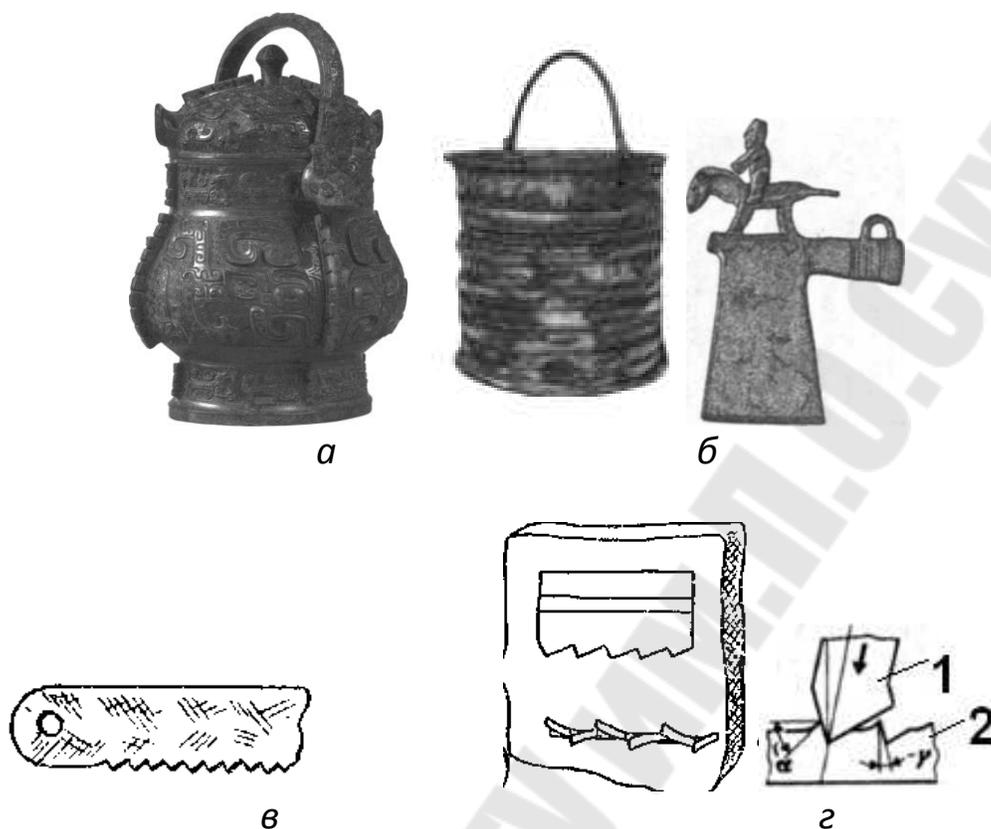


Рис. 2.41. Китайский бронзовый сосуд (2-ое тыс.л. до н. э.) (а), бронзовое ведро и топор (Европа 600 г. до н. э.) (б), лучковая пила (фрагмент этрусской вазы) (в), схема насекания зубьев напильника (1- зубило, 2- заготовка напильника)

Интерес к зубчатым пилам в бронзовом веке не пропал. Так появились *пилы* с прямыми и косыми зубьями и, что очень важно, с рационально выбранными углами. Делали даже развод зубьев поочередно в разные стороны для облегчения процесса резания и уменьшения трения полотна пилы о стенки узкой щели — пропила (рис. 2.41 в). Сказанное подтверждается археологическими находками пил и произведениями искусства.

Помимо развода зубьев, в древности применяли и пилы с обратным уклоном полотна. Со стороны зубьев оно делалось шире, чем с тыльной, нерабочей стороны.

Напильники моложе пил. В каменном веке их не было. Они появились в бронзовом веке и прочно утвердились в железном. С тех пор человек с ними не расстается. Уж очень напильники оказались полезными, относительно простыми и удачными инструментами. Зубья напильников получали насеканием зубилами, этот процесс был очень трудоемким (рис. 2.41 з).



Рис. 2.42. Бронзовые и медные топоры (Браславль 1-ое тыс.л. до н. э., Беларусь)

В Египте статуи богов покрывались золотом. Из серебра делались жертвенные чаши. Декреты о привилегиях бога Амона высекались на золотых, серебряных и медных пластинах. В храме бога Атума стояли золотые весы. На пьедестале сидел большой павиан, отлитый из чистого золота.

В книге "Сатира на ремесла", написанной примерно в 1700 г. до н. э., говорится о странствующем городском брадобрее, который "посвятил" себя "подбородкам" и бродил по улицам в поисках людей, желающих побриться.

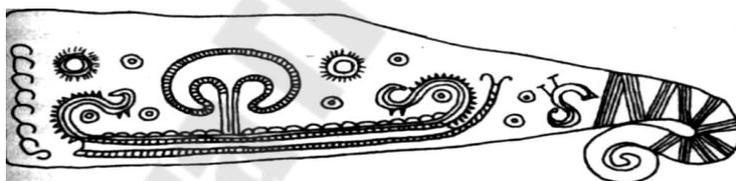


Рис. 2.43. Скандинавская бритва бронзового века с изображением, возможно, лодки с ветвью дерева вместо паруса (конец II в. до н. э.)

Железо. Первые изделия из железа, как свидетельствуют археологические находки, появились в IV тысячелетии до н. э. Это были в основном украшения, например, бусы. Исследования железа показали, что оно имеет метеоритное происхождение (это так называемый «небесный металл»).

Скорее всего, впервые железо было получено случайно — в результате использования железной руды вместо медной.

Первые письменные упоминания об оружии и орудиях труда из железа найдены в Библии и в древних индийских и китайских рукописях, датируемых началом III тысячелетия до н.э.

Основные железные руды: бурый железняк - смесь гидроокисей железа $\text{Fe}(\text{OH})_n$, магнетит Fe_3O_4 и железный блеск, или гематит Fe_2O_3 . Наиболее распространенные железные руды (магнитный железняк, красный железняк и бурый железняк) представляют собой соединения железа с кислородом или гидрат окиси железа. Красные или шпатовые железняки встречаются на болотах, лугах и озерах.

Восстановление железа начинается при $t = 500^\circ\text{C}$. Первые металлурги получали железо в горнах и печах при температуре 1100°C , а для перехода железа в жидкое состояние необходимо 1500°C . Железо скапливалось в виде тестообразной массы, которая сваривалась в пропитанную шлаком и остатками горного материала губку. Такое железо получило название сварного железа.

В Египте железо было известно уже с 2800 года до н. э. считалось там драгоценным металлом. Когда вскрыли гробницу Тутанхамона, то обнаружили, что среди многочисленных золотых вещей на самой мумии лежало царское оружие — кинжалы, был там и железный кинжал. Железо ценилось тогда дороже золота. Из него изготовляли оружие и украшения для фараонов.

Центром зарождения металлургии железа считается Хеттское царство - государство, существовавшее в Малой Азии во втором тысячелетии до н.э. Плавка железа и изготовление орудий труда из железа в больших масштабах, требующие более высокого уровня развития техники металлургии по сравнению с бронзой, стали возможны на Ближнем Востоке, в Индии и Южной Европе лишь на рубеже второго и первого тысячелетий до н.э., а на Дальнем Востоке - в седьмом - пятом в. до н.э., в Северной Европе - в VII в. до н.э.

Археологи экспериментально доказали, что при небольшом дутье была получена температура 1100°C и железо накапливалось около устья горна. Выход его был около 20%. При проведении опытов из 1,8 кг руды было получено 0,34 кг железа при температуре $1250-1350^\circ\text{C}$.

В Африке, на западном берегу озера Виктория обнаружено 13 печей, в которых выплавляли металл 15-20 столетий назад.

Загружали в печь (в глинобитную или простейшую яму) или в небольшие сыродутные горны одну часть руды и четыре части угля. Древесный уголь получали при неполном сгорании дров. Для этого на земле складывали дрова, наверх посыпали землю и обкладывали дерном.

Дрова поджигали, а для выхода дыма и газа оставляли несколько отверстий.

В результате получали пористый, дающий довольно высокую температуру уголь. Уголь загружали в яму вместе с рудой, и затем поджигали нижний слой угля, при горении угля образовывались окись углерода и углекислый газ. Поднимаясь вверх и проходя через слой руды, газы вступали во взаимодействие с окислами железа и восстанавливали окись железа до металла.

В сыродутных горнах дутье осуществлялось кожаными мехами, приводимыми в движение вручную или ногами. В таких горнах железо восстанавливалось из руды (процесс восстановления требует температуру 900 °С) и превращалось в мягкую, тестообразную массу. В сыродутных горнах древности температура достигала 1100-1350 °С.

Полученная в сыродутных печах или горнах железная крица — это пористый ком железа, загрязненный шлаками. Дальнейшая обработка происходила в кузнице, где крицу разогревали и обрабатывали ударами молота, чтобы удалить шлак.

Содержание углерода было небольшим, поэтому металл поддавался ковке в холодном состоянии. Первые железные изделия были мягче бронзовых.

В тоже время наряду со сравнительно мягкими кусками железа попадались и более твердые куски - те, что вплотную соприкасались с древесным углем. Это была *сталь*, и спрос на нее все время возрастал.

Уже в первом тысячелетии до н.э. - были освоены процессы науглероживания, закалки стали, ее отпуска.

Чтобы придать железу твердость и снабдить его режущей стальной кромкой, приходилось повторно нагревать его с древесным углем и затем несколько раз перековывать. После таких процедур получался уже пригодный для обработки металл, механические свойства которого можно было в значительной степени улучшить, закалив его. Именно так и поступали племена, жившие в горной части Армении. Изготовление железа в больших масштабах началось после 1000 г. до н. э.



Рис. 2.44. Инструменты и процесс обработки железа (рисунок на греческой вазе 6-ой в. до н. э.)

В железном периоде появилась *кузнечная сварка* железа. Куски кричного железа неоднократно проковывали, выжимая шлак из криц, и добивались сварки отдельных частей железа.

Кельты создали новые технологические процессы обработки железа. Так, они научились оснащать железные инструменты (топоры, лемехи, мечи и ножи) стальными лезвиями, применяли закалку и отпуск, изготавливали медицинские инструменты, владели насечкой, т.е. украшением железных изделий благородными металлами, а также другими способами обработки поверхности. У кельтов получению железа и его обработке научились римляне и германцы.

Широко известны знаменитые кельтские длинные мечи, у которых на мягкий стержень наплавлены стальные лезвия. Сталь для осталивания инструментов и оружия кельты получали науглероживанием железа в огне древесного угля.

Был еще один весьма своеобразный способ получения стали. О нем сообщает древнегреческий историк Диодор Сицилийский: они закапывали кованые железные пластинки в землю и держали их там до тех пор, пока ржавчина не съела все слабые части. Из оставшихся более прочных частей затем ковали свои превосходные мечи и другое оружие.

В III-IV вв. до н. э. в Восточной Европе появились биметаллические кинжалы (рис. 2.45 а). Тогда еще не освоили литья железа, поэтому ручку, навершие и перекрестье отливали из бронзы, а лезвие было из железа. Для получения длинных мечей из коротких криц концы двух заготовок соединяли внахлестку.

Скифами в начале II тысячелетия до н. э. на территории поднепровья получила распространение бронза.

Начало I тысячелетия до н. э. ознаменовалось резким увеличением ее производства.

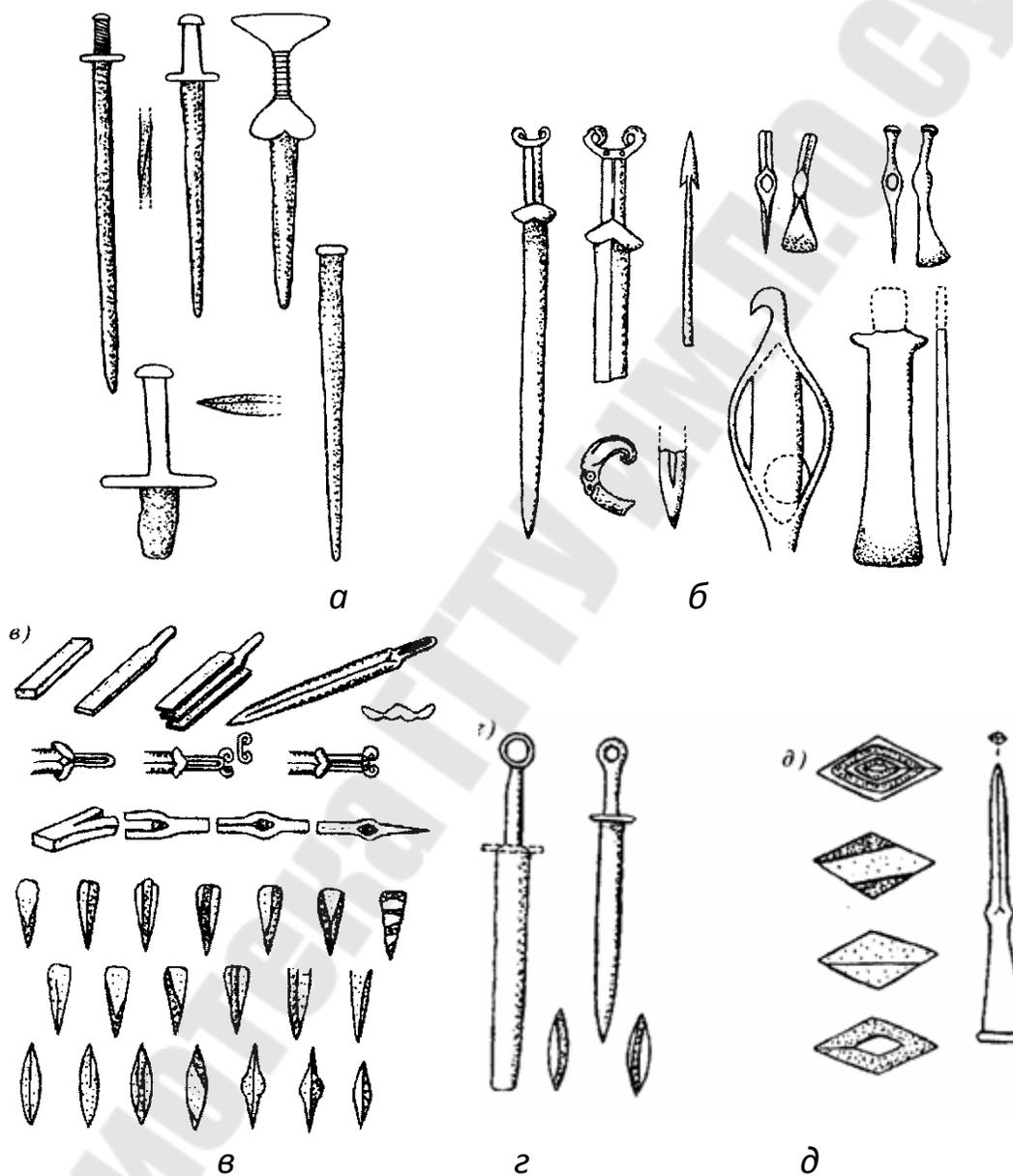


Рис. 2.45. Изделия, полученные кузнечной сваркой: *а* – киммерийские биметаллические и цельножелезные мечи (8-7 вв. до н. э.), *б, в* – скифские сварные железные изделия и технология их получения (7-3 вв. до н. э.), *г* – сарматские мечи (6 в до н. э. – 1 в. н. э.), *д* – технологические схемы изготовления сварных наконечников копий

В скифскую эпоху была освоена цементация железа (науглероживание поверхностного слоя) в целях получения большей твердости режущей кромки оружия. С помощью кузнечной сварки увеличивали размеры заготовок, придавали изделиям нужную форму, соединяли разнородные металлы для улучшения качества лезвий (рис. 2.45 б, в).

При изготовлении ювелирных изделий из золота, серебра, бронзы применяли пайку. Например, в золотой серьге из скифского кургана у Феодосии пайкой получена миниатюрная четверка мчащихся лошадей с крылатой богиней Никой, а также другие фигуры и украшения.

Археологами найдены мечи сарматских племен (рис. 2.45 з), датируемые VI в. до н. э. — I в. н. э., при изготовлении которых применялась сварка двух или трех полос железа. При изготовлении дротиков, мечей, топоров и других изделий (рис. 2.45 д), прибегали к закалке с последующим отпуском.

В IV – III вв. до н. э. Скифское государство достигло большого расцвета.

В военном деле скифы использовали массовую конно-стрелковую тактику. Они начали применять стрелы с граненым втульчатым наконечником из бронзы. Для решения этой проблемы скифы стали применять металлические формы. Metallурги Скифии около 2500 лет тому назад успешно освоили этот способ и даже использовали металлические стержни.

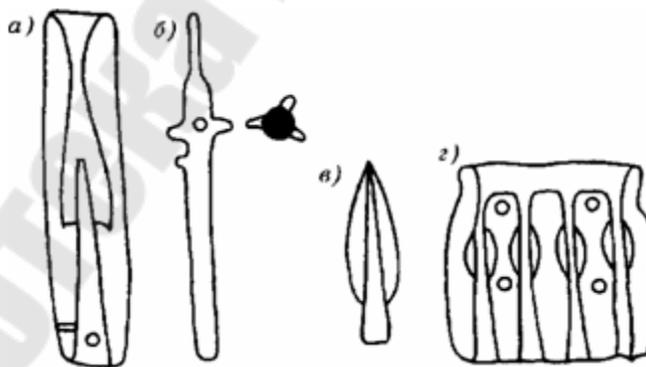


Рис. 2.46. Скифские литейные формы (а, г) и наконечники стрел (б и в)

Скифские литейные формы для наконечников обычно состояли из двух или трех металлических частей (рис. 2.46 а), формировавших наружную поверхность отливки и стержня (рис. 2.46 б),

предназначенного для выполнения внутреннего отверстия наконечника (рис. 2.46 в).

Собранная форма скреплялась специальными обручами и устанавливалась вертикально. Ряд таких форм заливали расплавленной бронзой через верхнее отверстие. Впоследствии верхнюю часть отливки (прибыль) отламывали, а место излома в наконечнике соответствующим образом затачивали.

Со временем опыт скифского литья в кокиль был утрачен.

Технология плавки и обработки железа постепенно совершенствовалась.

В «Одиссее» Гомер (VIII в до н.э.), описывая индийскую металлургию, впервые упоминает о чугуне, который получили в то время сплавлением железа с древесным углем в тиглях. Таким образом, чугун в Индии и Китае был известен задолго до появления доменных печей.

Непревзойденным памятником кричной металлургии является знаменитая железная колонна, изготовленная древними индийскими мастерами в 415 г. до н.э. и в 1050 г. установленная в Дели. Ее масса составляет 6,5 т, высота 7,2 м, диаметр у основания 42 см, на вершине - 30 см.

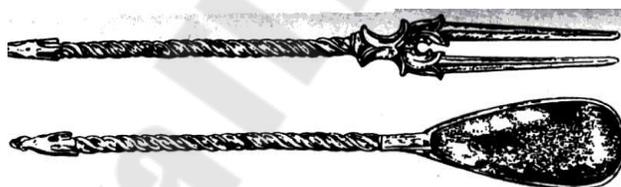


Рис. 2.47. Одна из самых ранних известных вилок для еды с ложкой (Использовались в Византии в IV в. н. э.)



Рис. 2.48. Бронзовые инструменты (Греция, 2-ой в. до н. э.)

Инструменты и инвентарь из железа

Тонкие и неширокие пилы длиной от 25 до 42 см с наклонно расположенными зубьями, снабженные деревянными рукоятками, были известны в Египте с 3-го тысячелетия до н. э. Благодаря этому египтяне уже в древнейшие времена умели изготавливать доски и тонкую фанеру. Деревья они рубили даже в более позднюю эпоху медными топорами.

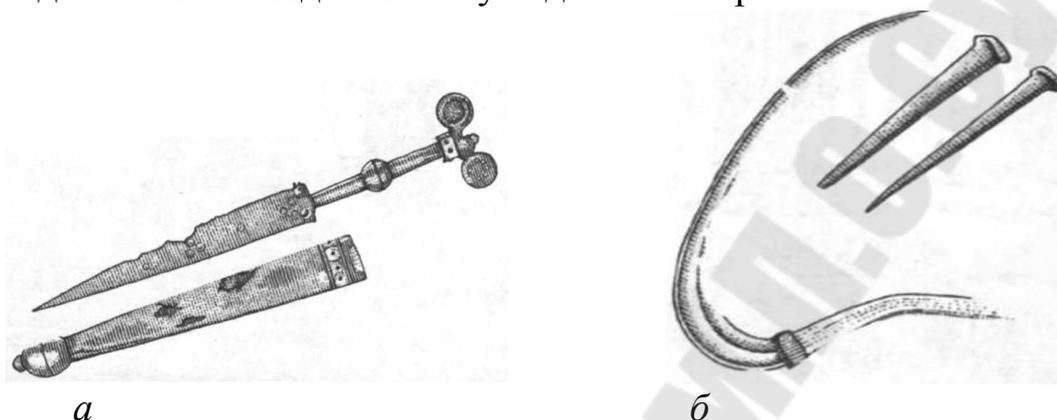


Рис. 2.49. Железный кинжал (а), римский серп и гвозди (б) (Западная Европа 2-ое тыс. до н. э.)

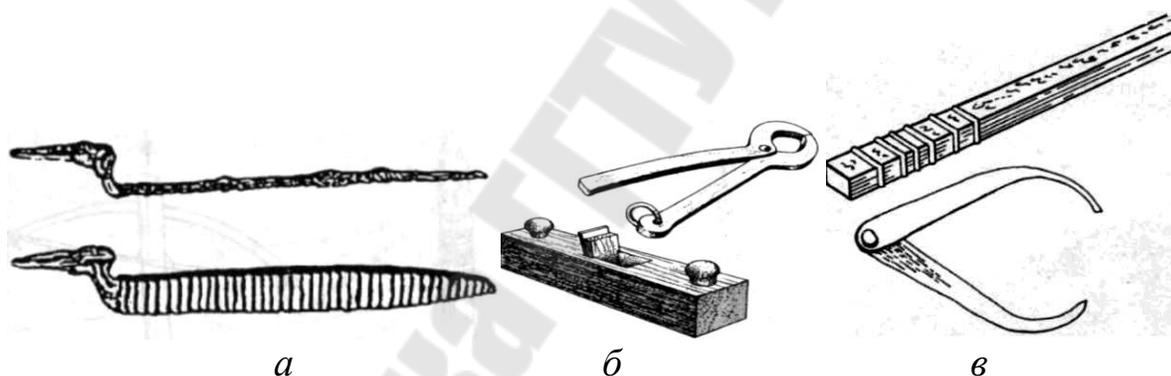


Рис. 2.50. Инструменты : напильник (Рим, 3-ий в.н.э.) (а) клещи и рубанок (б), линейка и изогнутый циркуль для измерения размеров (в) (Западная Европа 5 в. до н. э.)

Еще до 1000 г. до н. э. в Палестине использовались железные мотыги, лемехи, серпы и ножи. Применение железного топора позволило человеку производить расчистку под посевы больших лесных массивов и расширить в Европе участки, пригодные для земледелия.

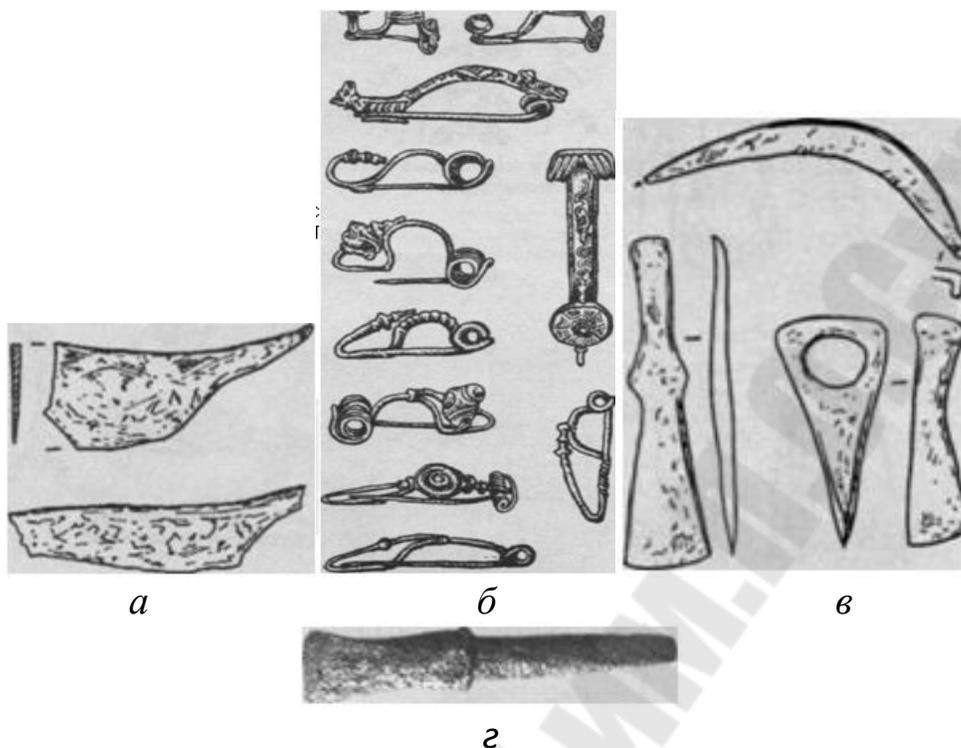


Рис. 2.51. Железные: бритвы (а), заковки (б) и топоры с серпом (в) (Юго-Восточная Беларусь, 1-е тыс. до н. э.), долото (г) (Минская обл.)

Греческие и римские земледельцы стали широко использовать самый разнообразный железный инвентарь: лопаты, заступы, вилы, кирки, мотыги, косы и секачи.



Рис. 2.52. Скульптурное изображение изготовления замка (гробница римского кузнеца, 5 в. до н. э.)

В 500 г. до н. э. были изобретены ножницы для стрижки овец (раньше шерсть у овец выщипывали). Этими же ножницами стали пользоваться и для стрижки волос, и разрезания тканей.

Один из самых полных наборов хирургических инструментов древнего мира представлен на рельефе, находящемся в египетском храме Ком Омбо, выгравированном приблизительно в 100 г. до н. э (рис. 2.53). В то время египетская цивилизация уже была эллинизирована на протяжении двух веков греками. На этом рельефе изображены зонд, хирургические щипцы, пилы, венорасширитель, каутер (металлический прижигатель), перевязочные средства, колба, целебные растения, пара ножниц, губка, разнообразные скальпели, коробка для инструментов и банки.



Рис. 2.53. Инструменты, изображенные на рельефе египетского храма Ком Омбо (около 100 г. до н. э)

Другие металлы античного периода.

Золото – металл желтого цвета. Температура плавления 1064°C , плотность $19\,320\text{ кг/м}^3$. В природе встречается чаще всего самородное золото, его получают путем промывки песка. А из руд получали путем выплавки и последующей очистки от примесей, главным образом от меди и свинца. Золото с древнейших времен шло на изготовление предметов домашнего обихода и даже оружия.

Серебро. Температура плавления – 960°C , плотность $10\,500\text{ кг/м}^3$. Серебро известно с глубокой древности (4-ое т. л. до н. э.) в Египте, Персии, Китае. Известно самородное серебро и серебряные руды. Получали его в древности обычно вместе со свинцом, применяя обжиг руды, горновую плавку, затем разделительную плавку.

Олово. Известно во втором тысячелетии до н. э. Температура плавления 232°C , плотность $7\,290\text{ кг/м}^3$. Олово – белый, блестящий мягкий и пластичный металл. Получали его путем восстановления в шахтных печах, затем производилась очистка с помощью очистительных процессов (примеси: мышьяк, сера, сурьма, висмут).

Свинец – тяжелый, очень пластичный и мягкий металл голубовато-серого цвета. Температура плавления 327°C , плотность $11\,340\text{ кг/м}^3$. Свинец был известен за несколько т.л. до н. э. Народам Месопотамии, Египта и др. стран Древнего мира. Из него изготавливали статуи, предметы домашнего обихода, таблички для письма. Римляне пользовались свинцовыми трубами для водопровода.

Некоторые соединения свинца использовались как краски (сурик, свинцовые белила) или как составные части лекарств. Металлический свинец получают окислительным обжигом сульфида свинца с последующим восстановлением окиси свинца. Ядовитость свинца отметили еще в 1 в. н. э.

Ртуть – тяжелый серебристо-белый металл, жидкий при комнатной температуре. Ее плотность $13\,520\text{ кг/м}^3$. Самородная ртуть была известна за 2 тыс.л. до н. э. народам древней Индии и Древнего Китая. Ими же, а также греками и римлянами применялась как краска киноварь: соединение ртути с серой. Со времен античности была известна амальгама: растворы металлов в ртути. Получают ртуть из ртутных руд посредством окислительного обжига.

Алюминий – серебристо-белый металл с плотностью $2\,699\text{ кг/м}^3$ и температурой плавления 660°C . Алюминиевые квасцы применялись в

качестве протравы при крашении тканей и для дубления кожи в 5 в. до н. э.

Платина – тяжелый белый тусклый металл плотностью $21\,450\text{ кг/м}^3$ с температурой плавления 1769°C . Самородные твердые растворы ряда металлов в платине были известны в древности в Египте, Эфиопии, Греции и в Южной Америке.

2.4.Станки

Изготовление орудий труда вручную было трудоемким процессом. Поэтому наряду с ручными операциями предусматривалась механическая обработка с помощью станка, который позволял снимать с тел вращения стружку при точении. Древнеегипетский *станок лучкового типа* был похож на современный деревообрабатывающий токарный станок (рис. 2.54 *а*).

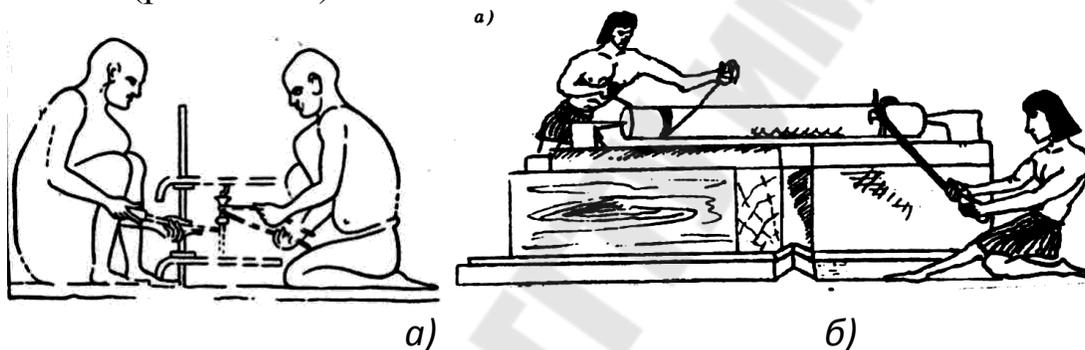


Рис. 2.54. Древнеегипетские токарные станки: *а* – с вертикальным расположением заготовки; *б* – с горизонтальным расположением заготовки

Заготовку закрепляли между держателями, которые укрепляли на верхней доске, уложенной на нескольких плоских опорах — основаниях. Тетиву лука обвивали вокруг заготовки, при движении лука заготовка вращалась. С помощью резца снимали стружку, придавая нужную форму изделию.

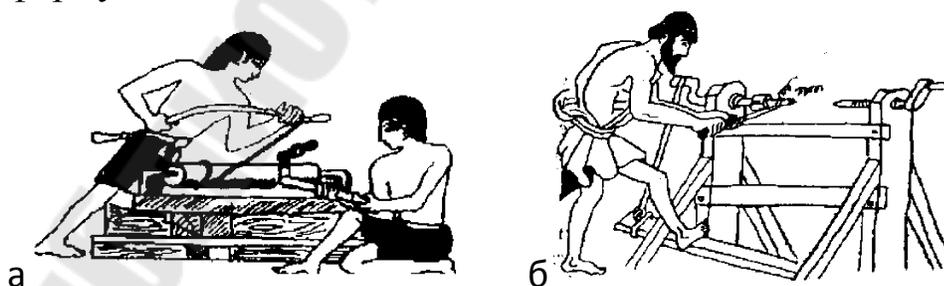


Рис. 2.55. Древнегреческие токарные станки: *а* – с лучковым приводом; *б* – с педально-кривошипным приводом

В Древнем Египте (IV в. до н. э. — V в. н. э.) был изобретен токарный станок сначала с ручным веревочным (рис. 2.55 а).

В дальнейшем станок с ножным приводом, более 2500 лет назад, в Древней Греции был изобретен (рис. 2.55 б).

2.5. Средние века

2.5.1. Становление естественнонаучных знаний. Одновременно с разработкой алфавита в средние века появились и цифры (от лат. *cifra*) — знаки для обозначения чисел. Первые цифры появились у египтян и вавилонян. У ряда народов, в том числе и на Руси, до 16 в. цифрами служили буквы алфавита.

В Западной Европе в средние века вначале использовали систему римских цифр. В 1202 г. вышел труд итальянского математика Л.Пизанского «Книга абака», в котором он наряду с систематическим изложением достижений арабской математики привел и цифры, попавшие к арабам из Индии.

В Европе индийские цифры получили широкое распространение со второй половины 15 в. и были положены в основу современного исчисления. Его работа «Книга абака» рассказывает о действиях над дробями, о тройном правиле и многом другом. «Книга абака», иначе — «Книга счета», стала тем сочинением, по которому училось не одно поколение купцов и ремесленников в средние века.

В течение эпохи Возрождения осуществлялся синтез научно-теоретического мышления и практики, подготавливающий возникновение экспериментального метода.

Одним из крупнейших изобретений человечества была *бумага*, изготовлявшаяся из специально подготовленной и высушенной массы растительных волокон, куда добавляли клеящие вещества и красители.

Предполагают, что из Китая не позднее 7 в. н. э. она попала в Индию. В 8 в. бумага была известна в Самарканде. Из Самарканда бумагу завезли в арабские страны, откуда она попала в Испанию и через нее в другие европейские государства. Другой путь в Европу, как предполагают, лежал через территории Египта или Пакистана в Италию.

В 793 г. в Багдаде построили первую бумагоделательную фабрику, и постепенно новый материал распространился по всему арабскому миру. Бумага стала использоваться не только для письма, но и как упаковочный материал, появились бумажные салфетки и скатерти. При-

мерно в то же время бумагу начали делать в Европе. Но вместо мускульной энергии людей и животных здесь применили водяной привод.

Развитию книгопечатания способствовало не только совершенствование техники печати, но и разработка алфавита. На 9 в. приходится годы жизни известных славянских просветителей и проповедников христианства Кирилла (827-869) и Мефодия (815-885), создавших на основе греческого уставного письма славянскую азбуку — кириллицу, положенную в основу русского алфавита. Они же перевели с греческого языка на славянский несколько богослужебных книг.

Однако вполне вероятно, что книги, напечатанные с деревянных досок, появились еще в первой половине 8 в. В это же время в столице Китая городе Сиане стал выходить правительственный вестник — первая в мире печатная газета.

Первые рукописные книги имели религиозный характер и представляли собой бумажный свиток длиной в несколько метров. Пользоваться ими было не слишком удобно. Поэтому шел поиск других форм книг. В 10 в. появилась книга в виде полосы бумаги, сложенная «гармошкой». Текст в них печатался только на одной стороне каждого листа. Древнейшая из книг-гармошек датирована 949 г.

Вслед за книгой-гармошкой вышла книга-«бабочка». В ней листки складывались пополам и приклеивались местом сгиба к корешку книги. Страницы с текстом чередовались в них с чистыми страницами. Позднее листы с текстом, отпечатанным по-прежнему на одной стороне листа, стали сгибать пополам и сшивать у корешка на стороне, противоположной линии сгиба. В таком виде книги в Китае выходили до 10 в.

В 9 в. в Китае начали печатать с досок книги для школ — это были первые в мире печатные учебники. А примерно в 900 г. в этой же области вышла в свет первая печатная энциклопедия, несколько листов которой сохранились до наших дней.

Техника печатания книг с деревянных досок называется ксилографией, т. е. гравюрой на дереве («ксило» по-древнегречески означает «дерево»). Ее изобретение было, несомненно, большим шагом вперед по пути совершенствования книгопечатного дела. Но со временем стало выясняться, что такой способ обходится слишком дорого. Типографская доска после напечатания могла пригодиться еще раз только при перепечатывании книги. Печатание каждой новой книги

начиналось с трудоемкой и дорогостоящей работы по изготовлению новых досок, которые после снятия оттисков сразу выбрасывались.

Эта проблема привела к появлению разборного шрифта, который изобрел китаец Би Шэн в 1041—1048 гг. Типографский шрифт Би Шэн изготавливался из глины. Каждая глиняная литера изображала определенный иероглиф. Эти литеры он обжигал на огне. При печатании литеры-иероглифы закреплялись рядами на железной форме в ячейках, куда предварительно заливались смола, канифоль или воск. Укрепленные литеры выравнивались, Би Шэн накладывал на форму плашмя ровно оструганную доску, и после того, как эта металлическая форма остывала, литеры, приклеенные уже затвердевшей смолой, были в ней достаточно прочно закреплены. На форму наносилась тушь, все это покрывалось листом бумаги, и оттиск страницы был готов.

Получив нужное количество оттисков, Би Шэн разбирает набор, для этого он снова нагревал форму, и когда смола плавилась, шрифт рассыпался, освобождая литеры для следующего текста.

Уже после Би Шэна китайцы научились изготавливать шрифт не только из глины, но и из олова, а затем и из дерева.

В 1314 г. образованный чиновник по имени Ван Чжень применил для печатания собственной книги о сельском хозяйстве изобретенные им подвижные деревянные литеры.

Текст наносился на печатную доску так же, как это делалось при ксилографическом печатании. Затем доска распиливалась на готовые брусочки — литеры, которые классифицировались по ячейкам наборной кассы, сконструированной в форме вращающегося круглого стола. Каждый иероглиф был пронумерован, один наборщик громко называл номер, а второй, вращая кассу, выбирал нужный знак.

Набранный текст вправлялся в деревянную рамку, а между строк вставлялись бамбуковые планки, сжимавшие иероглифы и строки, а также скреплявшие полосу набранного текста. После этого полоса еще раз сличалась с рукописью, и уже тогда делался оттиск, т. е. печатался текст.

В 15 в. корейцы продвинули намного вперед искусство книгопечатания. Они придумали металлический (бронзовый) шрифт, который изготавливали методом литья. Создание литого металлического шрифта было прямым продолжением дела Би Шэна, об изобретении которого в Корее было хорошо известно.

В самом Китае медные литеры были применены несколько позже, в 1488 г. В то же время китайцы начали экспериментировать и со свинцовыми подвижными литерами.

Средневековая книга в Европе была рукописной. В раннее средневековье основным материалом был папирус, а с 8 в. его повсеместно вытеснил пергамент, который был господствующим материалом вплоть до 13 в. Пергамент изготавливали из козьей, бараньей, свиной и телячьей кожи. Производство пергамента состояло из следующих стадий: промывание шкуры, золение, втирание мела (он впитывал жир), шелушение с помощью острого ножа и выглаживание пемзой. На протяжении предшествующего периода в основном использовались графитные карандаши (от тюрк. кара — черный + даш — камень), которым предшествовали «итальянские» (с 14 в.), до создания которых (с 12 в.) писали и рисовали с помощью свинцовых и серебряных штифтов в металлической оправе,

Печатание с досок распространилось в Европе в конце 14 в. В Германии, Италии, Фландрии этим способом печатали бумажные деньги, игральные карты и картинки религиозного толка. Сначала на них не было текста, он вписывался от руки, потом появились и картинки с печатным текстом. Напечатанные ксилографическим способом (то есть с доски) книги появились примерно в 1450 г. Техника печатания с досок напоминала во всех отношениях китайскую технику.

Наборщик, в соответствии с текстом набираемой книги, укладывал в нужном порядке одну литеру за другой; борта же не давали им рассыпаться. Когда страница была набрана, борт закрепляли. Получалась страница в рамке; она называлась печатной формой.

До конца 15 столетия типографии появились в Италии, Швеции, во Франции, в Дании и других странах. Количество книг резко возросло; не случайно, что начиная с 16 в. ведёт свою историю большинство крупнейших европейских библиотек.

Техника. В развитие техники выдающийся вклад внес Леонардо да Винчи, который изучал винтовые механизмы и установил оптимальные углы подъема резьбы, обеспечивающие эффект самоторможения передачи. Он также определил влияние диаметра тела качения на тяговую силу. Исследуя износ и плавность хода механических часов установил, что профиль зуба должен быть выполнен по циклоиде, до этого зубья были треугольной форм. Кроме

того, он исследовал влияние угла обхвата и структуры ременных передач на их передаваемый крутящий момент.

В математике Леонардо ввел знаки «+» и «-», объяснил распространение звуковых волн. Проектируя, например, летательную машину, он наблюдает полёт птиц и летучих мышей.

Раннему периоду развития техники свойственно использование в механизмах колеса, шарнира, ползуна, клина, употреблявшихся в ручной технике. Широкое распространение получают коромысловые механизмы, повозки, подъемные механизмы, в которых использовались блоки и ворота. Каменное строительство требовало сооружения при крепостных зданиях подъемных мостов, перебрасывавшихся через оборонительные рвы и быстро убиравшихся. Здесь применяли системы блоков и воротов.

Появление гидравлического и ветряного двигателей привело к повышению производительности труда, было достигнуто более точное сочленение деталей в самих мельницах и в различных механизмах.

Таким образом, применение водяного колеса позволило создать механизмы, передающие движение от двигателя к рабочему инструменту: механический рычажный молот, толчеевое устройство, где вращательное движение преобразовывалось в прерывно-поступательное; пороховые мельницы с кулачковым валом (преобразование непрерывного вращательного движения в возвратно-поступательное); сверлильные и расточные станки и другие устройства. В этот же период появляются зубчатые передачи между вращающимися осями, в том числе пересекающимися между собой.

Выдающиеся результаты в создании часовых механизмов, автоматов, механических игрушек и водоподающей машины достигнутые *Турриано* в 1559 г., позволили в городе Толедо приступить к изготовлению механического слуги.

Корпус и конечности *андроида* были сделаны из дерева и поворачивались только в продольном направлении с помощью рычагов, приводимых в движение от кулачков барабана. Вращение барабана осуществлялось от часового механизма, имеющего мощный пружинный завод.

Огромный вклад в развитие механизмов внес Леонардо да Винчи. Им были разработаны механизмы планетарной зубчатой передачи,

винтового реверса, подшипники (радиальный и радиально-упорные) и др. (рис. 2.56).

В своих сочинениях Леонардо да Винчи подробно описал практически все виды зубчатых передач, передач с гибкими звеньями, кулачковых и винтовых механизмов. Он изобрел несколько типов экскаваторов, несколько гидравлических машин, в том числе тангенциальную турбину, разработал конструкции прядильного, волочильного, прокатного станков и стана для навивки канатов.

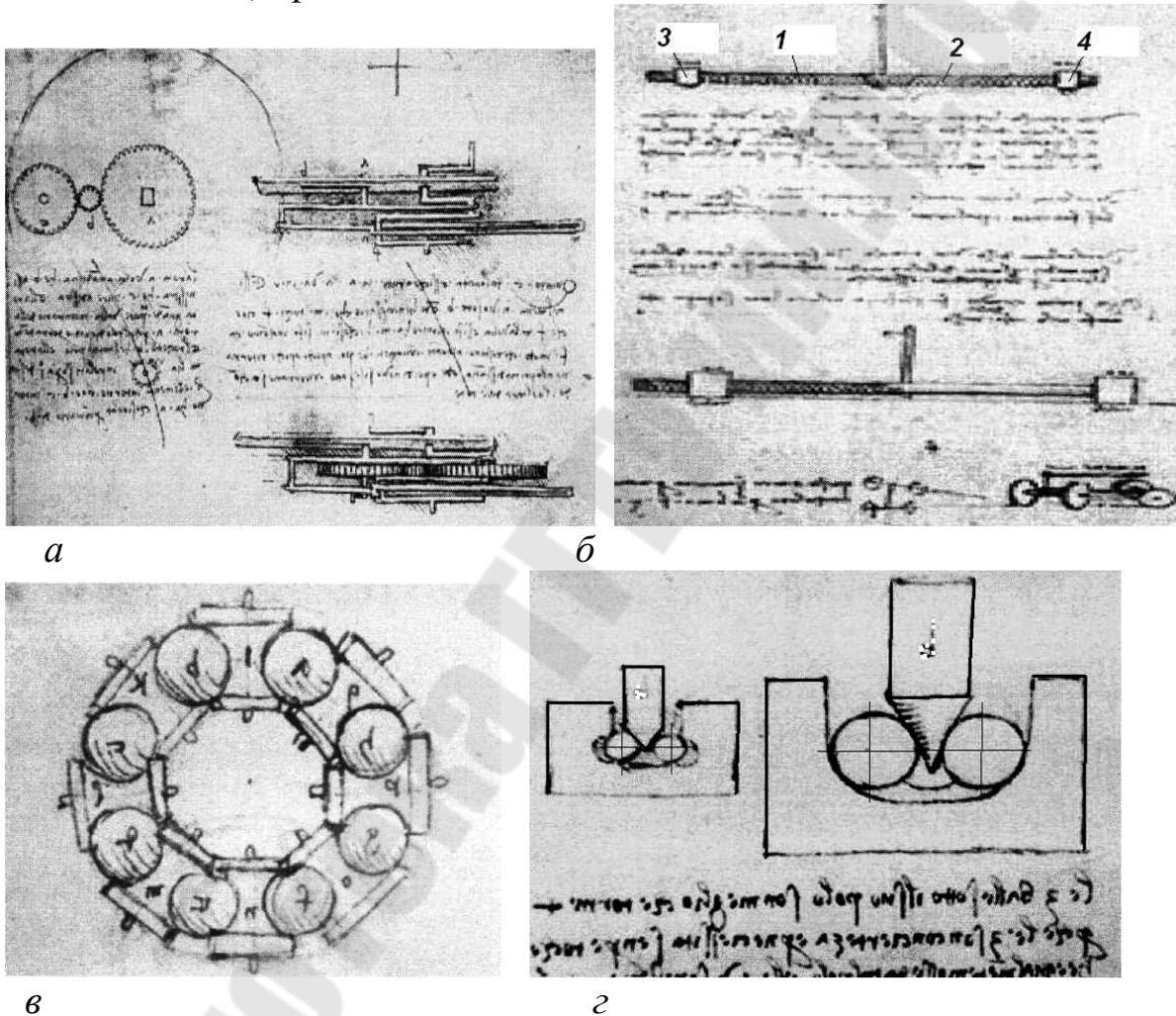


Рис. 2.56. Рисунки Леонардо да Винчи механизмов: планетарного зубчатого (а), винтового реверса (б) (1, 2 – винт с разнонаправленной резьбой, 3, 4 – гайки); подшипников (радиального и радиально-упорных) (в,г).

В 10 в. ученый монах Герберт (впоследствии папа Сильвестр II) изобрел первые механические часы с приводом от груза (гирь). Они имели вначале одну стрелку и в виде башенных распространились в

13-14 вв. Они служили тогда в основном церкви — оповещали боем время богослужения. Основным элементом башенных часов был заводной барабан, на который наматывались канат или цепь с подвешенным на конце грузом.

Внутри барабана монтировался механизм, обеспечивающий его равномерное вращение при медленном опускании груза (рис. 2.57).

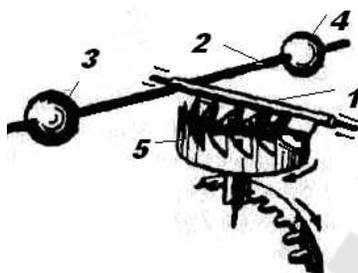


Рис. 2.57. Шпиндельный спуск 1 и регулятор в виде коромысла 2 с грузами 3 и 4 на горизонтальном коронном колесе 5

В 14 в. распространение получили механические часы с боем, и вместе с ними прочно вошло в сознание представление о разделении суток на 24 равных между собой часа. Позднее, в 15 в., вводится и новое понятие — минута.

В 1450 г. изобретены *пружинные часы*, а к концу 15 в. вошли в употребление переносные часы, но еще слишком крупные, чтобы их можно было назвать карманными или ручными.

Несовершенство же первых часов заключалось в том, что у них значительно изменялась амплитуда колебаний. Кроме того, вплоть до 16 в. они имели лишь часовую стрелку.

Станки.

Станок с отдельной деревянной скамьей-станиной и переставной задней бабкой впервые описан в книге монаха Феофила Пресвитера, изображавшего художественные ремесла 10 в., а также во французской библии 13 в. Не позднее 1250 г. ремень, поворачивающий заготовку, стали прикреплять внизу к педальному механизму, а наверху — к пружинящему передвижному шесту. У токаря, таким образом, появилась возможность вращать деталь ногой.

С середины 14 в. для привода токарных станков начали использовать водяные двигатели.

Так, на территории Великого княжества Литовского сформировались первые токарные цеха в 1562 г. Там же можно отметить

среди токарных изделий, кроме деревянной посуды, точеных частей мебели и всевозможных коробок, еще один их вид — коробки для печатей на грамотах, которые весьма искусно изготавливались из древесины твердых пород, или березового наплыва. При этом некоторые из них имели закручивающиеся крышки, резьба которых треугольная, однозаходная, выполнялась очень чисто.

Первое известное изображение педального токарного станка относится к 13 в. Оно имеется на витраже Шартрского собора.

Рисунок не дает возможности установить, имеет станок очеп или лук.

Первое изображение немецкого токарного станка находим в книге предприятия называвшегося «Дом двенадцати братьев» (рис. 2.58). Эта книга издана в 1400 г. Для рассматриваемого станка характерно наличие впервые выявленных конструктивных зачатков передней и задней бабок, а также скамьи-станины.

Совершенно ясно очеп виден на рис. 2.59, изображающем токаря, во французской рукописи 14 в.

На рисунке видно, что токарь опирается резцом 4 на левую опору шпинделя, что позволяет отклонять резец вдоль образующей детали и при простых движениях резца получать сложные поверхности детали. Ременным приводом через колесо с кривошипом стали пользоваться с начала 15 в. Первый передвижной суппорт (узел для крепления и перемещения режущего инструмента) появился приблизительно в 1480 г.

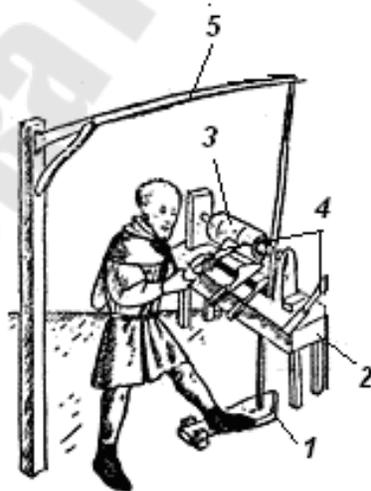


Рис. 2.58. Эскиз токарного станка с педально-очеповым приводом: 1— педаль, 2— стойка с подручником, 3— заготовка, 4— резцы, 5— очеп



Рис. 2.59. Эскиз обработки на токарном станке: 1 – станина, 2 – педаль, 3 – заготовка, 4 – резец, 5 – веревка, 6 - очеп

Так например, к 1480 г. относится известие о суппорте токарного станка, изображение которого было обнаружено Фельдхаузом в немецкой рукописи (рис. 2.60). Резец 1 имел форму заостренной лопатки. Он устанавливался в специально предназначенное для него гнездо 2 и закреплялся винтом с квадратной головкой 3. Он устанавливался в специально предназначенное для него гнездо 2 и закреплялся винтом с квадратной головкой 3.

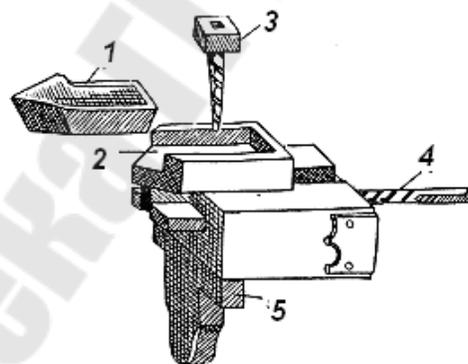
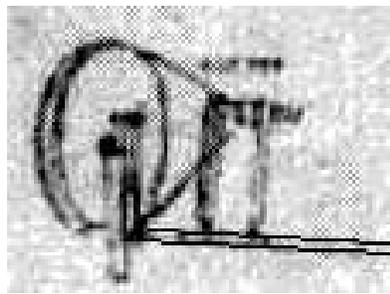


Рис. 2.60. Эскиз суппорта: 1– резец, 2– поперечный суппорт, 3- крепежный винт, 4– винт поперечных подач, 5– продольный суппорт

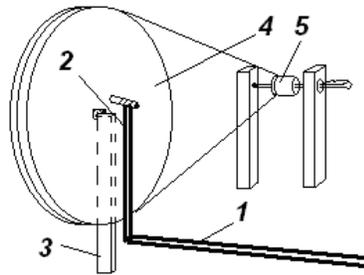
Резец, закрепленный в резцедержателе, мог быть подведен к обрабатываемой детали с помощью винта поперечных подач 4.

Для перемещения резца вдоль обрабатываемой детали были предназначены салазки 5(продольный суппорт).

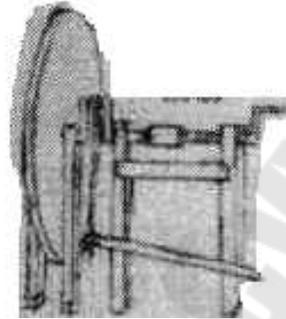
Леонардо да Винчи предлагал конструкции токарных станков с педально-кривошипным и ременным приводами (рис. 2.61).



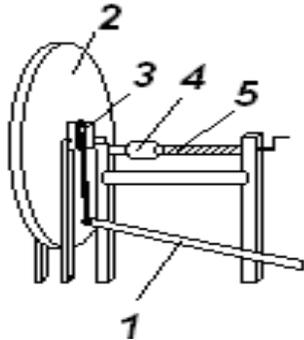
а



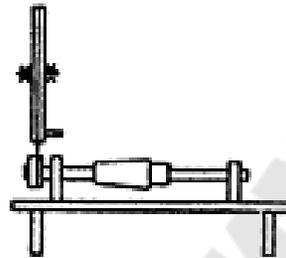
б



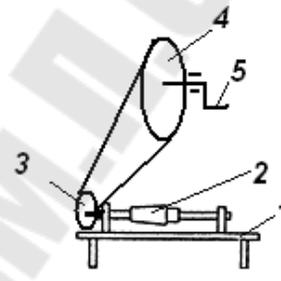
в



г



д



е

Рис. 2.61. Рисунки Леонардо да Винчи и схемы токарных станков: с педально-кривошипным приводом и приемным колесом (а), и его схемой (б), здесь 1 – педаль, 2 – шатун, 3 – стойка, 4 – шкив, 5 – приводной шкив ременной передачи и заготовка; с педально-кривошипным приводом (в) и его схемой (г), здесь 1 – педаль, 2 – маховик, 3 – коленчатый вал, 4 – заготовка, 5 – центр с винтовым зажимом; с ручным ременным приводом (д, е), здесь 1 – станина, 2 – заготовка, 3, 4 – шкивы ременной передачи, 5 рукоятка привода

Токарный станок, приведенный в описании Бессона, специально приспособлен для изготовления художественно-декоративной посуды.

В книге Бессона показан токарно-овальверный станок, служащий для овальной обточки при помощи переставного шаблона. Последний представлял круглую шайбу 5, наклон которой можно было изменять (рис. 2.62). Токарный резец 4 для работы на этом станке имел рукоятку большой длины, поддерживаемую в прорезах двух подставок подшипников.

Первые сведения о станках с приемным шкивом относятся к 16 в. в Германии.

Приемный шкив первоначально получал энергию, необходимую для приведения в движение станка, с помощью гибкой связи (просмоленной веревки или ремня), надетой на шкив, вращаемый человеком.



Рис. 2.62. Токарно-овальверный станок (Жак Бессон 1569г.): 1 – педаль, 2 – станина, 3 – заготовка, 4 – резец, 5 – поворотный диск

Токарно-винторезные станки. В книге французского математика и механика Жака Бессона впервые описывается способ изготовления крупного винта. Для разметки винтовой линии на вал, установленный на токарном станке, рекомендуется навить пергаментную ленту 1, образовавшуюся винтовую линию наметить трехгранным напильником 2 и затем углубить ее до необходимых размеров с помощью того же напильника (рис. 2.63).

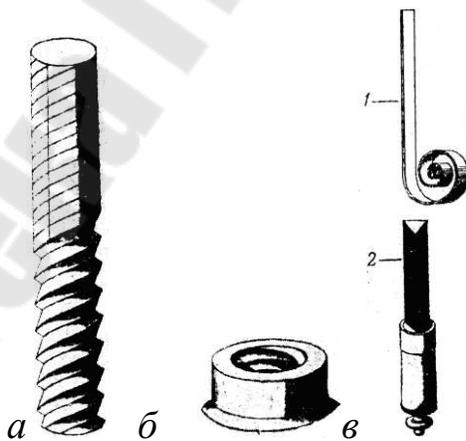


Рис. 2.63. Эскизы винта (а), гайки (б) и инструментов для разметки и изготовления (в) (Жак Бессон, 1569г.): 1- лента, 2- напильник

Леонардо да Винчи разработал токарно-винторезный станок (рис. 2.64), в котором заготовка совершает главное вращательное движение. От привода главного движения через сменные зубчатые колеса 8

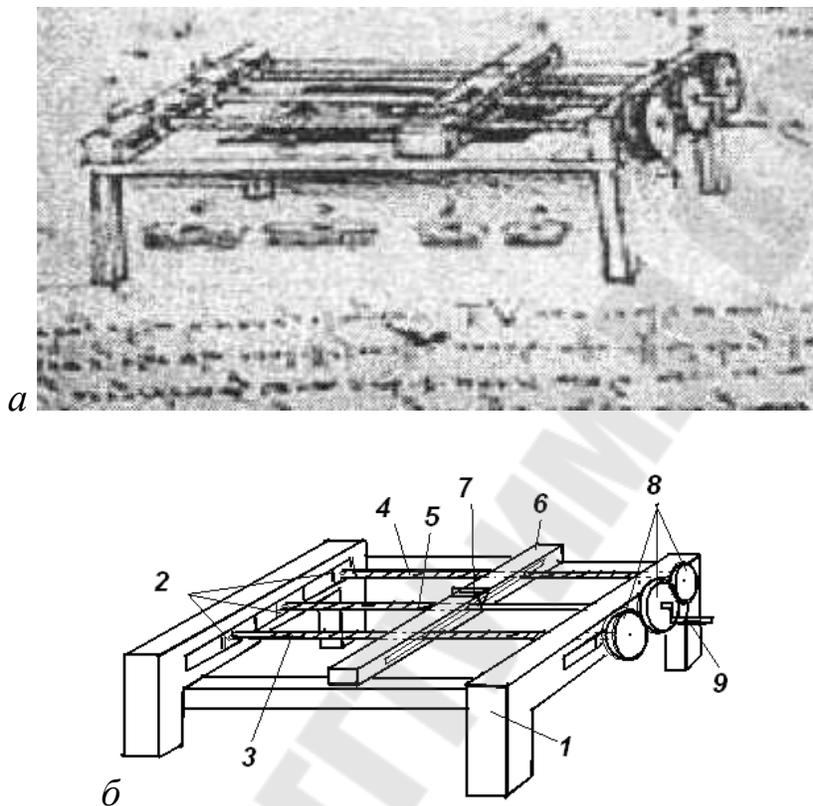


Рис. 2.64. Рисунок Леонардо да Винчи токарно-винторезного станка(а) и его схема (б) : 1 – станина, 2 – блоки подшипников, 3, 4 – винты, 5 – заготовка, 6 – брусок со встроенными гайками, 7 – резец, 8 – сменные зубчатые колеса, 9 – рукоятка.

движение передается на два ходовых винта 3 и 4, которые установлены в регулируемых в радиальном направлении блоках подшипников 2. Такая конструкция позволяла нарезать винты на заготовках 5 с различным шагом за счет применения сменных зубчатых колес 8. Два ходовых винта обеспечивали линейность перемещения суппорта с резцом.

Специальный токарный винторезный станок, описанный Бессоном, изображен на рис. 2.65. Это первый сложный станок с механизированной подачей резца. Станок имел отдельные системы, обеспечивавшие желательные величины подачи и глубин резания. Механизм подачи был заблокирован с устройством, обеспечивавшим главное движение, а глубина резания независимо от них устанавливалась рабочим в процессе резания.

Обрабатываемая деталь 1 приводилась во вращение, как это было обычно в то время, с помощью обведённой вокруг неё верёвки. Один конец этой верёвки был обведён несколько раз вокруг шкива 2 и закреплён на нём, другой конец оттягивался грузом. Верёвка, наматываясь и сматываясь со шкива 2, заставляла вращаться обрабатываемую деталь. Шкив 2 был неподвижно посажен на одном валу со шкивом 3, который токарь вращал попеременно в одну и другую стороны, подтягивая и отпуская верёвку, переброшенную через шкив 3 и оттягиваемую грузом. Таким образом, обеспечивалось главное вращательное движение.

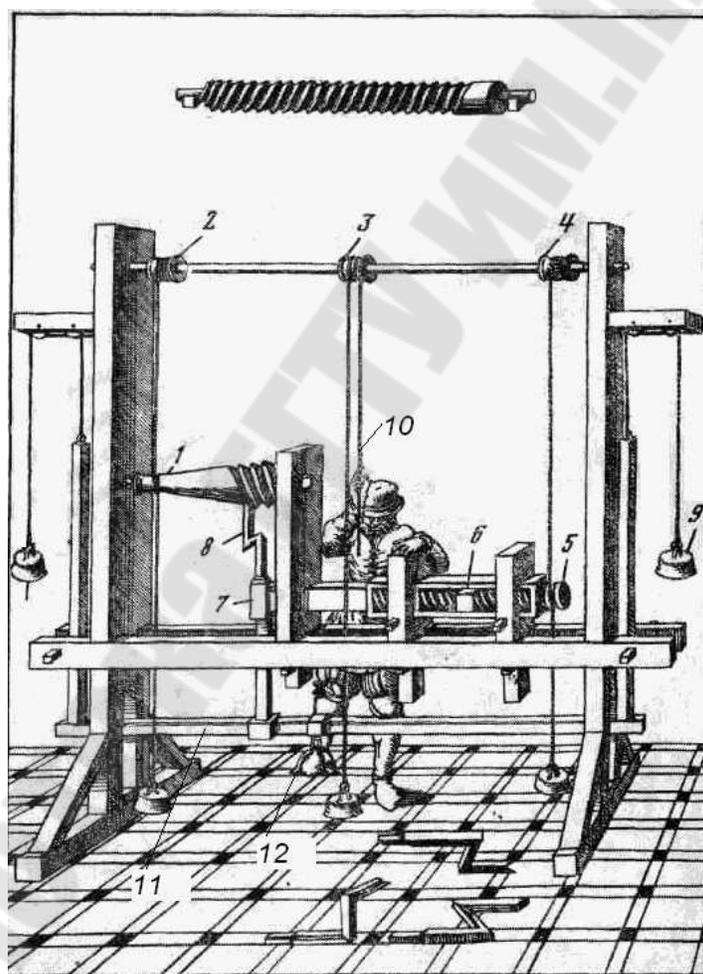


Рис. 2.65. Рисунок токарно-винторезного станка (по Жаку Бессону 1569г.):
 1- заготовка, 2,3,4- шкивы, 5- винт, 6- гайка, 7- резцедержатель с рамкой,
 8- резец, 9- груз, 10- веревка, 11- брусок, 12- педаль

Движение продольной (осевой) подачи осуществлялось вследствие вращения шкива 4. Намотанная на нём верёвка была обведена вокруг хвостовика 5 винта, который, вращаясь, перемещался в неподвижно закреплённой гайке 6 и сообщал движение резцедержателю 7 и резцу 8. Таким образом, в описываемой конструкции на один оборот заготовки была предусмотрена определённая величина осевой подачи резца.

Радиальная подача регулировалась человеком с помощью педали 12, нажимая на которую, он отводил резец от обрабатываемой детали. Радиальная составляющая усилия резания создавалась грузами 9. Устройство для прижимания резца к обрабатываемой поверхности не позволяло резцу отрываться от заготовки при изменении формы последней, что позволяло наносить винтовые линии также на заготовки с переменным сечением.

Связь между главным движением и движением подачи явно прослеживается в конструкции другого сложного токарно-винторезного станка, описанного в 1584 г. в книге французского учёного и инженера Жана Эрара (рис. 2.66).

Главное движение у этого станка осуществлялось следующим образом. К потолку был прикреплен лук 1, выполнявший функцию пружины. К середине тетивы 2 лука был прикреплен один конец верёвки 3, обведённой дважды вокруг заготовки винта 4. К другому концу верёвки прикреплена педаль 5. Нажимая ногой на педаль 5, заставляли заготовку 4 совершить один рабочий оборот, а лук 1 согнуться, т.е. запасти энергию. Во время рабочего хода осуществлялось резание. Последнее производилось стальным резцом с деревянной рукояткой, который токарь опирал на подручник. Резец нигде не был закреплён. Отпуская педаль 5, токарь позволял луку 1 разогнуться. Лук 1 вращал заготовку 4 в сторону, противоположную рабочему ходу, т.е. совершался холостой ход.

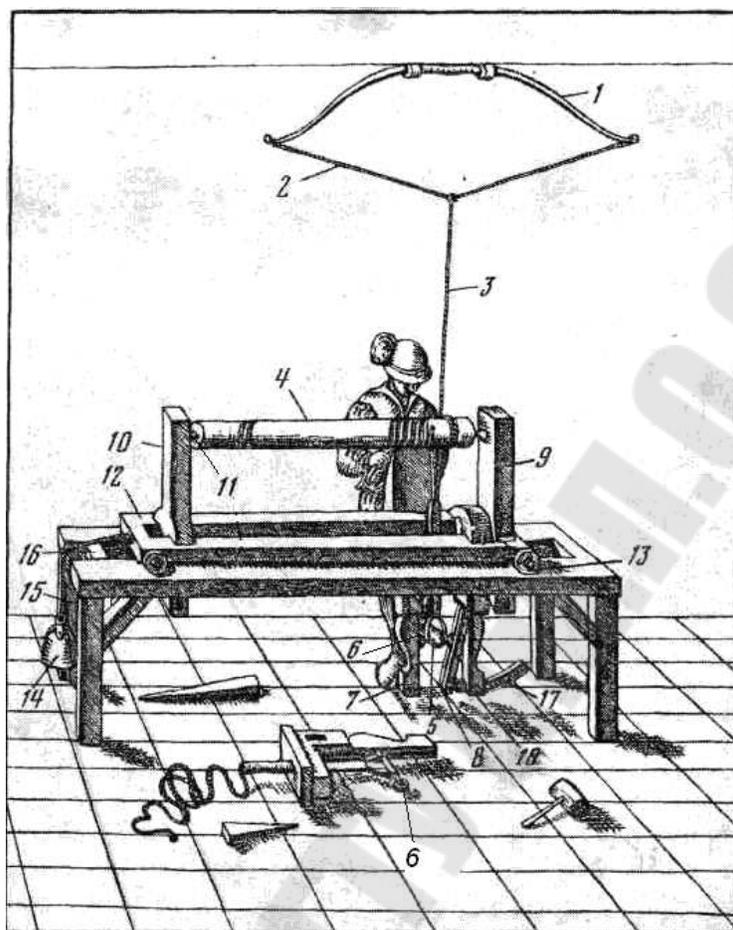


Рис. 2.66. Эскиз токарно-винторезного станка (по Жану Эрау 1584г.):
 1– лук, 2– тетива, 3– веревка, 4– заготовка, 5– педаль с роликами, 6– ролик, 7–
 стойка, 8– поворотная планка (балансир), 9, 10 – стойки, 11 – центр, 12 –
 шпиндельная бабка, 13 – роликовые опоры, 14 – груз, 15 – веревка, 16 – блок, 17 –
 сектор, 18 – опора сектора

Педаль 5 имела по обеим сторонам по ролику 6, которые при перемещении педали 5 вниз перемещались в пазах стойки 7 и балансира 8. Стойка 7, верхний конец которой служил подручником, была неподвижна. Балансир 8 мог поворачиваться в вертикальной плоскости. Передняя 9 и задняя 10 стойки были установлены на раме шпиндельной бабки 12. Бабка 12 имела четыре ролика 13 и оттягивалась грузом 14, прикрепленным к верёвке 15, перекинутой через блок 16. Под действием груза 14 бабка 12 могла перемещаться при небольшом усилии.

При движении педали 5 вниз, т.е. когда совершался рабочий ход, бабка 12 перемещалась по станине и осуществляла движение подачи.

Величина подачи соответствовала заданному шагу винта, нарезавшегося на заготовке 4. Для того чтобы можно было нарезать винты с разным шагом, с балансиром 8 был скреплен сектор 17. В секторе 17 имелись отверстия, в которые вставлялся фиксатор и закреплял его под определенным углом, равным углу подъема резьбы.

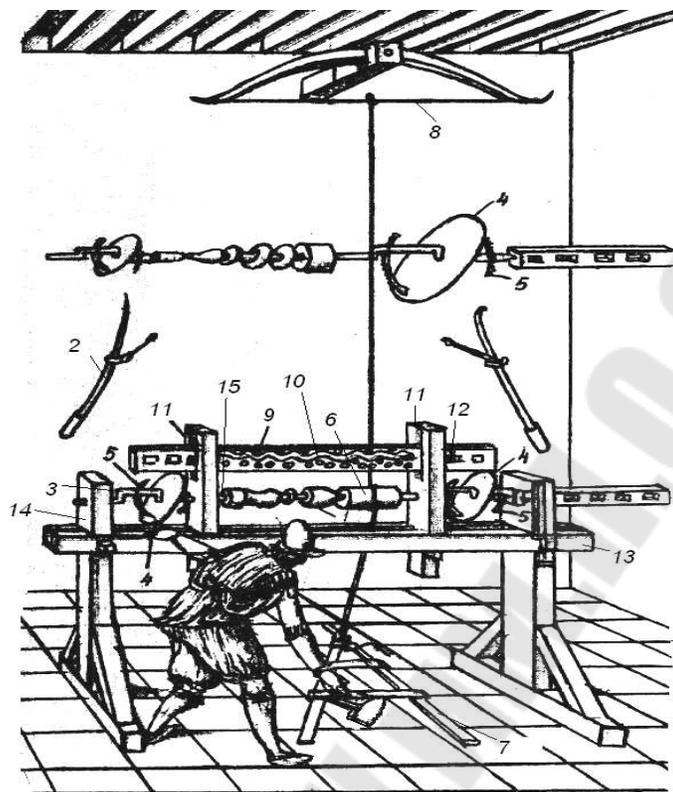
Токарно-копировальные станки. Французский математик и механик Жак Бессон в середине 16 в. в своей книге «Театр инструментов» впервые описал токарно-копировальные станки, на которых по бронзовым образцам (копирам) можно было вытачивать неограниченное количество изделий из дерева и кости. Относительно стойки перемещался (вертикально) копир (рис. 2.67).

Копир представляет собой брусок с пазом. На оси были закреплены диски, которые регулировались относительно оси. Очеп или лук с педальным приводом. Диски устанавливались на изогнутом валу. За счет перемещения резца можно вытачивать фигурное изделие. В паз копира устанавливался резец и фиксировался штырями в отверстие. Копиры были сменные.

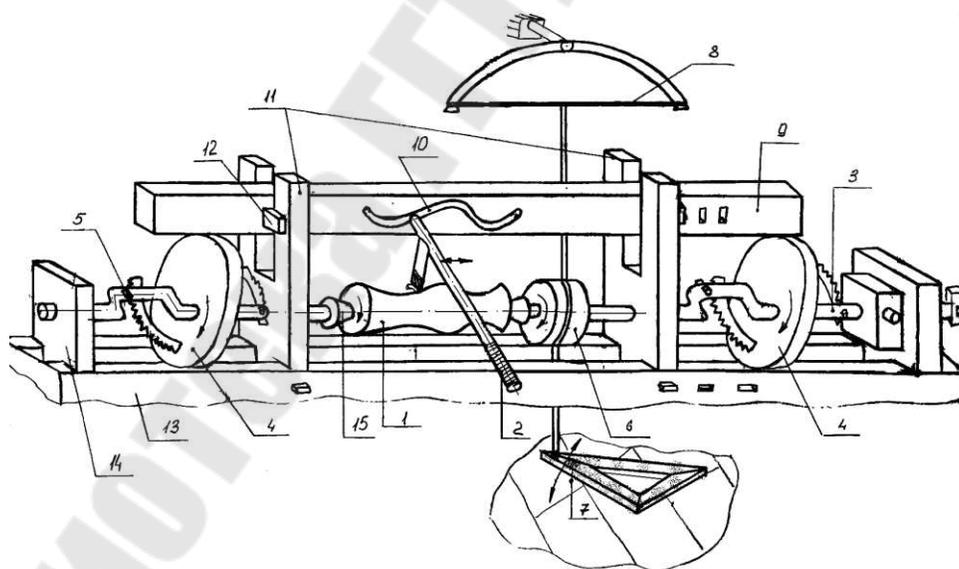
Сверлильные и расточные станки. С появлением артиллерии потребовались станки и в первую очередь сверлильно-расточные, предназначенные для удаления неровностей в каналах литых артиллерийских стволов. При этом в ствол, установленный вертикально, дульной частью вверх, вводилась деревянная расточная борштанга с закрепленными в ней несколькими резцами.

Вращение ее вначале осуществлялось вручную с помощью веревки, а позднее от водяного колеса. Существовала и другая схема, при которой ствол располагался сверху и подача его осуществлялась под действием собственного веса. При этом обеспечивался лучший отвод стружки, но усложнялись установка ствола и его вращение.

Наиболее ранние устройства для обработки канала орудийного ствола описаны в немецких рукописях, относящихся приблизительно к середине 15 в. Эскиз такого устройства показан на рис. 2.68. Ствол орудия устанавливался вертикально, и в его канал вводилось сверху сверло. Положение сверла фиксировалось деревянными перекладинами,



а



б

Рис. 2.67. Токарно-копировальный станок (а) и его схема (б):
заготовка 2— резец, 3- вал, 4-диск, 5-сектор, 6- шкив, 7— педаль, 8 – тетива, 9– копир,
10- паз копира, 11 – стойки, 12 – клин, 13 – станина, 14 – опора, 15 – центр.

а подача регулировалась от руки. Вращательное движение сверла осуществлялось вручную или конной тягой. Понятно, что при таком способе возможна зачистка канала, получавшегося в стволе при отливке.

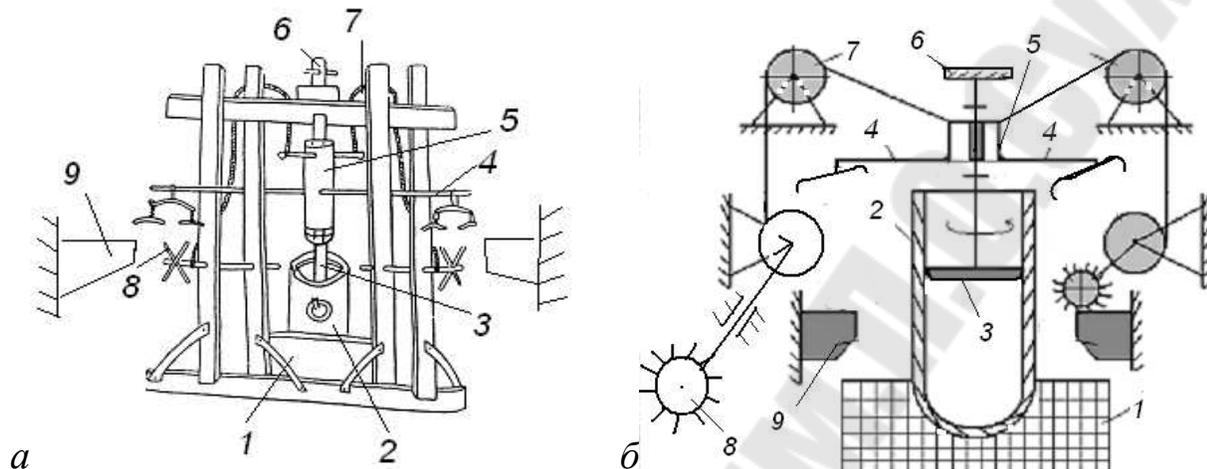


Рис. 2.68. Изображение расточного станка (а) и его схема (б):

1– основание, 2– орудие (ствол), 3– борштанга, 4– подъемник, 5– подвижная втулка, 6– привод главного движения, 7– блок, 8- ворот, 9– консоль

В 1540 году в Германии появились первые сверлильные станки с горизонтальным шпинделем (рис. 2.69) .

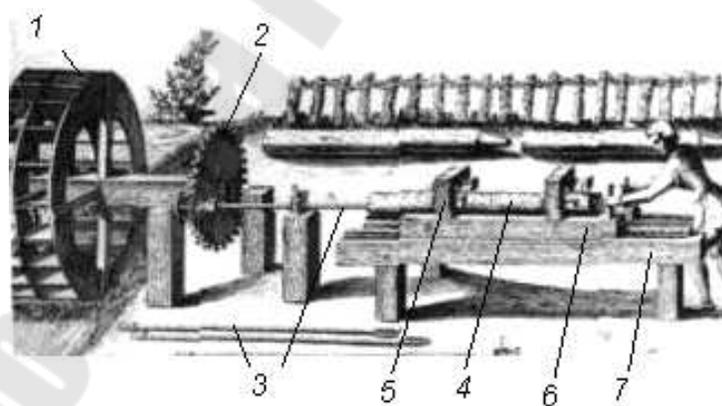


Рис. 2.69. Сверлильный станок с гидромеханическим приводом: 1 – гидроколесо, 2 – зубчатая передача, 3 – сверло, 4 – заготовка, 5 – зажим, 6 – ручной суппорт (сани), 7 – станина.

Одной из самых трудоемких слесарных операций была насечка зубьев напильников. Леонардо да Винчи предложил конструкцию станка для насечки напильников (рис. 2.70). Заготовка напильника 1

закреплялась прижимом 2 на столе 14. Ударник 10 с острой режущей кромкой, падая, насекал зубья на заготовке. Все движения в станке осуществлялись от рукоятки 3, вращательное движение от которой передавалось на цевочную передачу 5 и кулачок 7. Кулачок 7, нажимая на рычаг 8, поворачивал ось 9 и поднимал ударник 10, который затем падал под собственным весом. Кроме того, вращательное движение от рукоятки 3 посредством цевочной передачи 5 передавалось винту 13, который обеспечивал поступательное движение стола 14 с вмонтированной в нем гайкой. Груз 11 возвращал стол 14 в исходное положение, вращая вал 4 в обратном направлении.

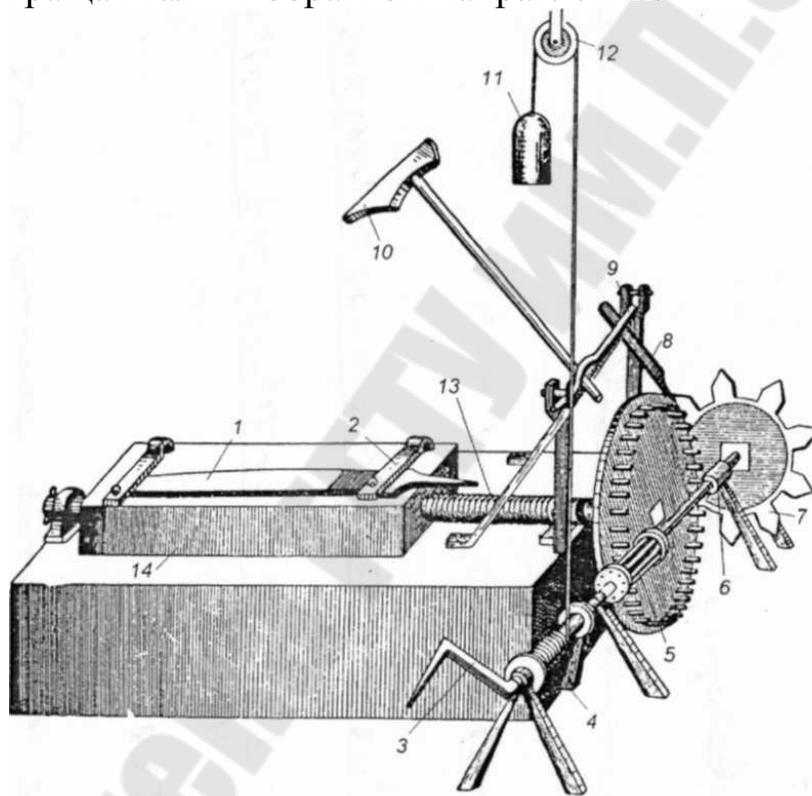


Рис. 2.70. Реконструкция рисунка Леонардо да Винчи станка для насечки напильников:

1— заготовка напильника, 2- прижим, 3— рукоятка, 4- вал, 5— цевочная коническая передача, 6— опора, 7— кулачок, 8— рычаг, 9— ось, 10- ударник (боек), 11— груз, 12 — блок, 13 - винт, 14 - стол

Абразивные станки. Обработка материалов с помощью естественных камней, кристаллы которых осуществляли резание, является наиболее древним видом обработки. Леонардо да Винчи предлагал конструкции станков для обеспечения одной из трудоемких

операций - шлифования стекол при получении линз и зеркал (рис. 2.71). На рисунке 2.71 представлены шлифовальные станки обеспечивающие обработку заготовок вращающимся диском (рис. 2.71 а) или абразивным неподвижным камнем (рис. 2.71 б).

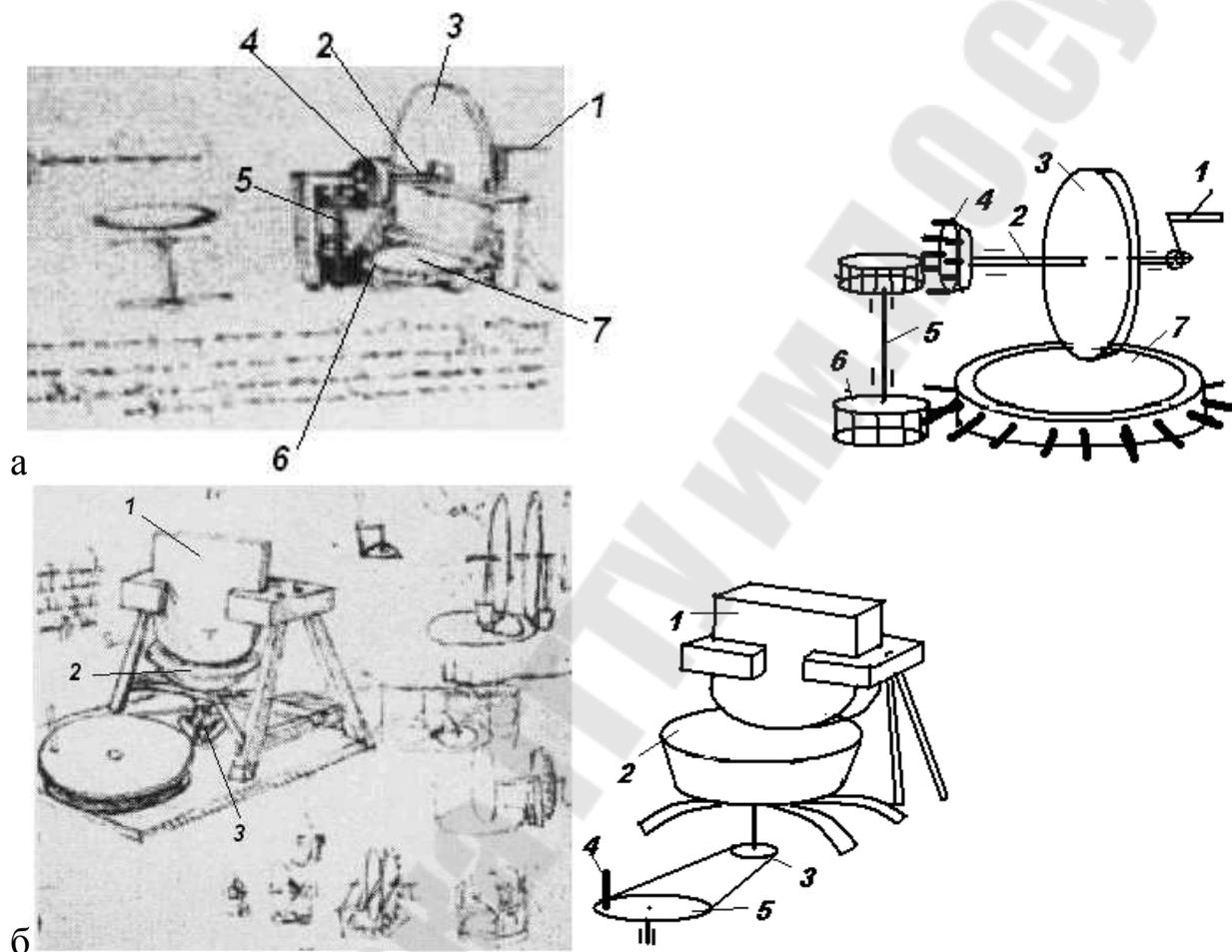


Рис. 2.71. Рисунки Леонардо да Винчи станков для обработки зеркал : вращающимся абразивным диском (а) и неподвижным абразивным камнем (б)

Движения в станке на рис. 2.71 а осуществлялись от рукоятки 1 на абразивный диск 3 и через зубчатую передачу 4 на вал 5, а от него через передачу 6 на стол 7. На столе была закреплена заготовка.

Станок с абразивным камнем (рис. 2.71 б) работал следующим образом. За рукоятку 4 вращали шкив 5, от которого посредством ремня движение передавалось на шкив 3. Шкив 3 был закреплен на одной оси со столом 2. На столе 2 была закреплена заготовка. Камень 1 перемещался в вертикальном направлении под собственным весом.

Совершенствование способа изготовления зубчатых колес.

Наиболее старый делительный диск (рис. 2.72), изготовленный в 1564 г., до второй мировой войны хранился в Дрезденском физико-математическом салоне. На нем были нанесены концентрические окружности, разделенные на определенное число частей, а также имелось отверстие для насадки на штырь для удобства разметки заготовки. Как отмечает Фельдхауз, делительный диск был расчерчен с обеих сторон. С одной стороны он имел 11 концентрических окружностей со 120 делениями, а с другой — 10 окружностей с 768 делениями. Такое большое количество делений позволяло размечать зубчатые колеса с любым числом зубьев в пределах потребности того времени.

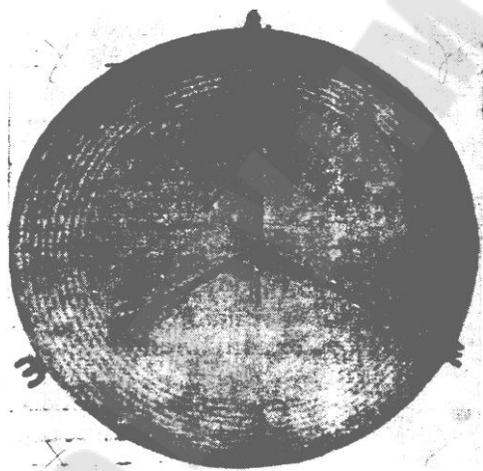


Рис. 2.72. Делительный диск для разметки заготовок при нарезании зубчатых колес

Изготовление зубчатых колес требовало очень большой затраты труда. Сделанные вручную по разметке, даже выполненной со специальными приспособлениями, они не были точными. Потребность в изготовлении мелких зубчатых колес для карманных часов, получивших к концу 17 в. значительное распространение, вызвала настойчивую необходимость в механизации труда.

2.6. Основные особенности мануфактурного производства

Начинается зарождение технических наук на стыке производства и естествознания для решения практических задач и обслуживания производства. Научный и технический прогрессы стали сближаться 16 -

18 вв., когда мануфактурное производство, нужды торговли и мореплавания потребовали теоретического и экспериментального решения практических задач.

Начиная со второй половины 15 в. и до начала 18 в. происходит становление экспериментального метода на основе соединения науки и практики. Наука проникает в прикладную сферу, но техническое знание еще не приобретает статуса научной теории, поскольку еще не сформировались окончательно теоретические построения естественных наук, основанные на эксперименте.

Паровой привод. Острая потребность в универсальном и более совершенном источнике энергии заставила в свое время обратить внимание на пар еще Леонардо да Винчи и И. Ньютона. Первый предложил паровую пушку, в раскаленный углями ствол которой впускали холодную воду в результате следовало ее мгновенное испарение и выталкивание ядра. Таким образом, ствол одновременно выполнял функции топки, котла и цилиндра.

Первую практически применимую паровую машину-водоподъемник построил в 1698 г. английский инженер *Томас Севери*. Его «огневой насос» имел узкое назначение — откачку воды из подземных выработок (рис. 2.73 а). Котел в его машине был уже отделен от двигателя, объединенного с насосом, поршня и цилиндра в машине не было. Отделение котла от двигателя повышало эффективность установки и было важным шагом на пути создания паровой машины. Пар из котла 1 поступал в емкость 2 и вытеснял воду из нее в резервуар 3 через нагнетательный клапан 4 при закрытом всасывающем клапане 5. Затем кран 6 закрывали, а емкость 2 поливали холодной водой. Давление снижалось и через клапан 5 вода поступала в емкость 2. В 1715 г. машина Севери была усовершенствована французским физиком Ж. Дезагюлье.

Дальнейшее совершенствование *паровой машины* связано с именем английского инженера *Т. Ньюкомена*, построившего в 1712 г. совместно с Д. Колли (Коули) первую работоспособную поршневую паровую, а точнее, паро-атмосферную машину для откачки воды из шахт, в которой паровой котел был отделен от цилиндра и соединялся с ним трубкой (рис. 2.73 б).

Пар из котла 1 поступал в цилиндр 2 и поднимал поршень 3, который уравнивался грузом 4. В результате впрыскивания в

цилиндр холодной воды из резервуара 5 пар конденсировался, и поршень опускался. Охлаждающая вода и сконденсированный пар выпускались из цилиндра по трубе 6, а излишний пар из котла – через предохранительный клапан 7.

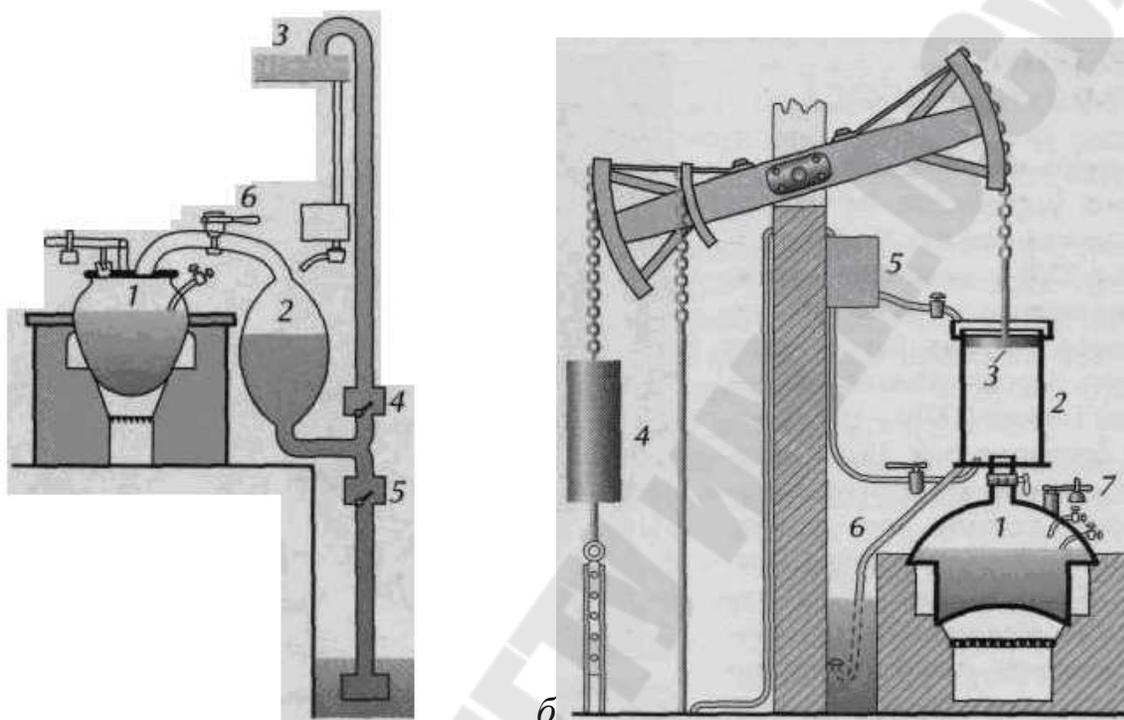


Рис. 2.73. Схемы парового привода: Севери (а), Ньюкомена (б).

«Водоподъемник» Ньюкомена — Коули стал первым тепловым двигателем, в котором появился передаточный механизм в виде балансира, связавшего насосную штангу с поршнем двигателя, и в результате двигатель конструктивно обособился от рабочей машины.

Дальнейшее совершенствование в машину Ньюкомена внес его соотечественник *Г. Бейтон*, который в 1718 г. автоматизировал процессы попеременного пуска пара и воды, а также снабдил котел предохранительным клапаном.

Д. Хольз (Гулль) в 1736 г. первый представил проект парового судна, оснащенного машиной Ньюкомена и двумя гребными колесами, расположенными за кормой. На этом, по существу, и закончился первый этап создания паровой машины.

Электричество. Еще древние греки установили, что янтарь, потертый шерстью или сукном, притягивает к себе легкие предметы, пушинки, волоски и т.д.;

В 1660 г. немецкий физик *Генрих Отто* (1602-1686) построил одну из первых электростатических машин (рис. 2.74 *а*) в виде серного шара, который вращался на железной оси и электризовался трением об руки. Он установил, что наэлектризованные тела отталкиваются и электризация тел может распространяться по проводникам.

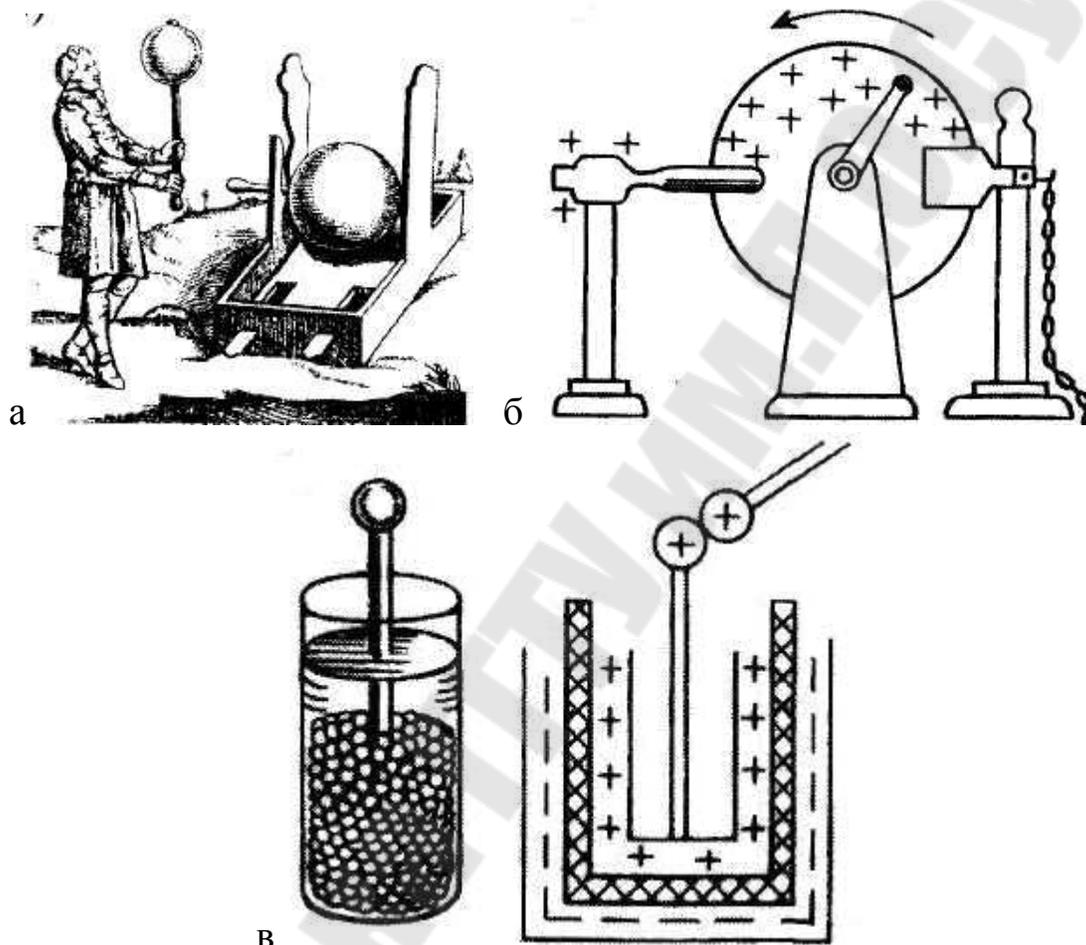


Рис. 2.74. Первые приборы и устройства для исследования электрических и магнитных явлений: *а* — первая электростатическая машина Отто; *б* — первая электрическая стеклянная машина трения; *в* — первый конденсатор — лейденская банка

В 1729 г. английский физик *Грей Стефан* (1666-1736) открыл явление электропроводности, установив, что электризация тел передается по медной проволоке, но не передается по шелковой нити. Он первый разделил все тела на проводники и непроводники, подтвердил существование явления электростатической индукции и показал, что электрический разряд распространяется по поверхности тел.

В 1732 г. французский ученый *Шарль Дифе* (1698-1739) открыл два вида электричества, «стеклянное» (стекло, хрусталь, шерсть и т. д.) и «смоляное» (янтарь, шелк, бумага и т. д.), и установил закон взаимодействия зарядов (одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются), первым наэлектризовал тело человека (рис. 2.74 б).

В Англии в 1753 г. были опубликованы первые предложения по созданию электростатического телеграфа, но первая телеграфная линия между городами Мадрид и Аранхуэс была построена испанским инженером Ф. Сильва лишь в 1785 г., полсотни лет спустя.

Часы. Вторым после мельницы по своей важности изобретением мануфактурного периода, как уже отмечалось выше, были часы.

Карманные часы с боем появились в 1505г., после того как мастер *П. Генлайн* из Нюрнберга заменил гирию пружиной.

Большую роль в развитии маятниковых часов сыграли труды Г. Галилея и Х. Гюйгенса середины 17 в., специально посвященные этому вопросу.

Галилей открыл изохронность колебаний физического маятника, но кардинальный переворот в часовом деле произвел нидерландский ученый *Х. Гюйгенс*. Он первый применил в 1637 г. в часах маятник в качестве регулятора хода, а также изобрел балансир со спиралью и анкерным спуском для карманных часов (рис. 2.75).

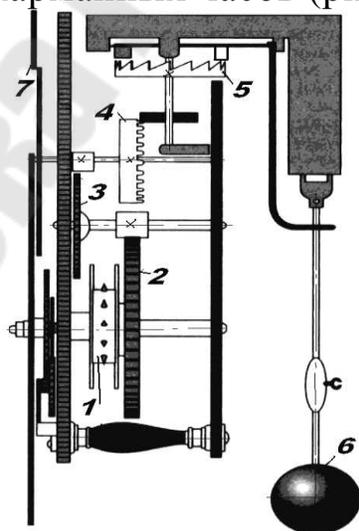


Рис. 2.75. Схема механизма маятниковых часов (по рис.Х.Гюйгенса): 1 - звездочка, 2, 3 – зубчатые передачи, 4- коническая передача, 5 – анкерный спуск, 6 – маятник, 7 – циферблат

Им была написана специальная книга «Маятниковые часы», являющаяся образцом сочетания научной теории с практикой.

Существенный вклад в развитие техники внес механик-изобретатель И. П. Кулибин (1735-1818).

Автоматические вычислительные приборы - предшественники современных калькуляторов и других вычислительных машин. Этому способствовало в частности и развитие вычислительных разделов математики.

В 1619 г. вышла работа шотландского математика *Д. Непера* «Устройство удивительной таблицы логарифмов», а в следующем — «Арифметические и геометрические таблицы прогрессий» швейцарского математика *Бюрги*.

Еще задолго до эпохи Возрождения астрономы, выполняя арифметические действия с восьмиразрядными десятичными числами, думали о замене вычислений вручную механическими (с помощью машин). И только в начале 17 в. из механических элементов были сделаны вычислители, выполняющие арифметические операции.

Несмотря на то, что первые вычислители приводились в движение руками человека, заложенные в них идеи через три столетия воплотились в релейных и электронных цифровых вычислительных машинах.

Создателем первой механической вычислительной машины является немецкий ученый *Вильгельм Шиккард*. В двадцатитрехлетнем возрасте он стал профессором кафедры восточных языков Тюбингентского университета.

Вторая механическая вычислительная машина была разработана французским математиком и физиком *Блезом Паскалем*. С раннего детства он проявлял интерес к естественным наукам. Уже в тринадцать лет Паскаль посещал заседания математического общества Мерсенна, где узнал о нерешенных задачах математики.

В шестнадцать лет он опубликовал статью «Опыт о конических сечениях», получившую одобрение многих ученых. Эта статья имела большое значение для создания Паскалем в 1642 г. модели первого механического вычислителя.

В 1649 г. Паскаль был удостоен специальной королевской привилегии.

Большая роль в разработке механических вычислительных машин принадлежит гениальному немецкому математику и философу *Готфриду Вильгельму Лейбницу*.

В 1672 г. в городе Майнце *Лейбниц* на основе предложенного им устройства изготовил двухадресную вычислительную машину, получившую название арифмометр. Новый тип вычислителя высоко оценили ученые Парижа. Только автор не был удовлетворен своим детищем и продолжал работать над улучшением конструкции. В 1676 г. по его идеям механик Оливер изготовил несколько арифмометров, которыми пользовались математики и астрономы.

В 1713 г. он предложил применить *двоичную систему* счисления в вычислителях. При такой системе крайне просто выполняются операции умножения (смещением разрядов влево с последующим сложением), деления (смещением разрядов вправо и вычитанием).

В Ганновере под руководством Лейбница собрали двенадцатиразрядный арифмометр. А в 1708 г. на шестнадцатиразрядном вычислителе были составлены таблицы элементарных функций. На изготовление арифмометров Лейбниц затратил около двадцати четырех тысяч талеров собственных средств, в то время это было огромной суммой. По одному арифмометру он подарил России и Франции. В 18 и 19 вв. по его схемам и действующим образцам изготовили несколько счетных машин, получивших мировую известность.

Автоматизация. Другим направлением использования часовых механизмов было создание «андроидов» (по имени Анри Дро), или «человекоподобных» автоматов. Это направление было связано с развитием «механицизма» и попытками философов распространить законы механического движения на живую природу. Сами же авторы видели в своих изобретениях лишь остроумные механизмы.

К концу рассматриваемого периода было создано великое множество «андроидов», из которых наибольший восторг современников вызывали «Порхающая утка», «Флейтист» и «Барабанщик» французского механика Жака Вокансона (1730-40), а также «Рисовальщик» и «Писец» выдающихся швейцарских часовых мастеров братьев Пьера и Анри Дро.

Конструкция механизмов писца Анри и Жака Дро исключительно сложна, и описать ее подробно не представляется возможным.

Рассмотрим работу верхнего и нижнего устройств, приводимых в движение от двух часовых механизмов, пользуясь рис. 2.76, где показаны основные устройства андроида при снятой с его спины крышке.

В верхнем устройстве находился длинный вращающийся барабан 1, который мог перемещаться вверх только после останова. Барабан состоял из трех наборов тонких пластин по 40 штук в каждом. Пластины изготовлены в виде кулачков сложной формы и отделены друг от друга дисками толщиной 0.7 мм. Во время вращения барабана кулачки поднимали или опускали три главных рычага, которые приводили в движение запястье правой руки. Все буквы выписывались с требуемой степенью нажима гусиным пером.

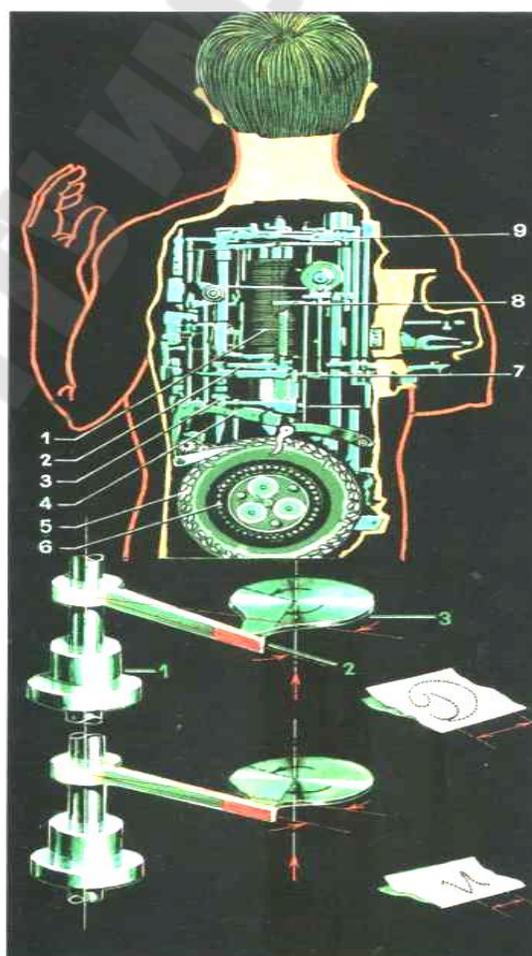
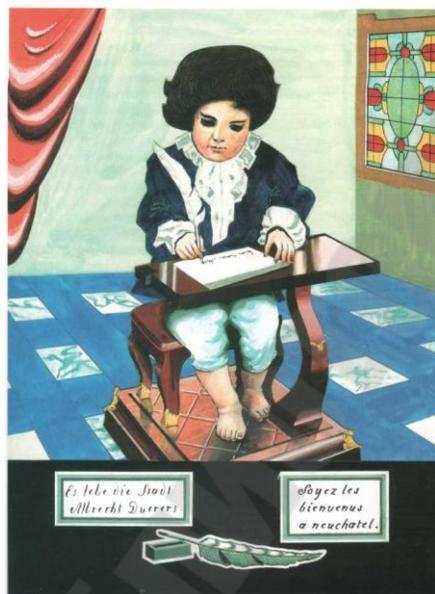


Рис. 2.76. Механический писец: сверху слева — кадр из кинофильма «Феерия автоматов»; снизу слева — текст, написанный писцом на немецком и французском языках; сверху справа — механизм писца; снизу справа — устройство отвода рычага от кулачков барабана

В механизм входили три главных рычага, два из них (8 и 7) показаны на рисунке, а третий, расположенный с передней стороны андроида, не виден. Наконечники рычагов изготовлялись из рубина для уменьшения износа кулачков, поэтому качество написания фраз было исключительно высоким.

Рычаг 9 управлял движением правой руки, устанавливая перо против отверстия чернильницы, после чего механизм поворачивал специальный кулачок, и рука с пером опускалась вниз для набора чернил. Затем рука слегка приподнималась, и перо извлекалось из чернильницы с легким встряхиванием для удаления лишних чернил. На этом все подготовительные процедуры заканчивались, и писец мог приступить к выведению букв.

Каждая буква писалась, когда барабан поворачивался на $2/3$ оборота, а за остальное время ($1/3$ оборота) требовалось подготовить андроид к написанию следующей буквы.

Такая подготовка нужна потому, что рукописные буквы имеют неодинаковые размеры и для их размещения в строке требуется выделять различные по ширине места. С этой целью в набор барабана вводились пластины 3 с выступами (см. рис. 2.76, снизу).

В зависимости от размеров выступов изменялись углы поворота рычага 1 с рубиновым наконечником 2, резервирующие место, необходимое для написания каждой следующей буквы. На листки бумаги, как это показано на рисунке, нанесены штриховые линии, между которыми могут размещаться буквы разной ширины, например латинские *D* и *u*.

Перед написанием каждой буквы рука писца с пером возвращалась в рабочее положение, а кончик пера соприкасался с листом бумаги. Такая конструкция не позволяла налезать более широким заглавным буквам на строчные.

Нижнее устройство с диском 6 запускалось верхним, заставляя его поворачиваться на один шаг. На диске было размещено сорок кулачков 5, имеющих различную форму. Кулачки поворачивали рычаг 4 и перемещали барабан 1 вверх, после чего писалась первая буква. Закончив данную операцию, нижнее устройство останавливалось, и вновь запускалось верхнее.

Затем андроид писал следующую букву и так далее. Оба устройства поочередно приводились в действие друг от друга, поэтому исключалась

одновременная их работа. Механизм подобного рода не позволял записать новую букву на месте ранее написанной.

Текст писался до тех пор, пока писец не ставил точку. Эта операция выполнялась с помощью довольно сложного устройства, позволяющего опускать точку буквы *i* до нижнего уровня в строке.

При изменении текста необходимо было снимать все кулачки и заменять их новыми; затем производить регулировку устройств так, чтобы пластины находились точно напротив соответствующих рычагов. Иначе механический писец стал бы выписывать бессмысленные наборы букв.

Создатели андроида смогли достичь высокой точности изготовления деталей и сборки всего механизма, несмотря на отсутствие в то время измерительных инструментов и приборов, позволяющих выполнять точные замеры.

Колебания температуры в помещении, где находился писец, приводили к изменению размеров деталей и зазоров, что нарушало работу андроида.

Вообще говоря, создание андроида, передвигающегося подобно человеку, является сложной задачей, так как необходимо описать процедуру ходьбы дифференциальными уравнениями и проанализировать по ним процессы движения. К решению этой задачи приблизился великий французский математик *Жозеф Луи Лагранж* в 1756 г. В двадцатилетнем возрасте он описал процессы движения механизмов дифференциальными уравнениями, пользуясь при этом обобщенными координатами.

Известно, что в *Японии* первые андроиды появились в период династии Токугава в 17 в. На спектаклях кукольного театра в городе Эдо (современная столица Токио), который являлся резиденцией правителей Японии с 1603 по 1867 г., показывались пьесы из жизни японского народа. Основными исполнителями в них выступали механические куклы.

Ученый *Комокава Синрай*, живший в то время, составил атлас чертежей кукол с подробным описанием систем управления. По этим чертежам профессор Такикава сделал копию куклы, которая называлась «Девушка, пьющая чай».

Большую известность получили андроиды выдающего французского ученого *Жака де Вокансона*. В 1736 г. в Париже демонстрировался его пастух высотой 1,78 м, исполняющий несколько музыкальных пьес на флейте.

Вокансон не делал секрета из своего изобретения и часто показывал основные устройства андроида.

Упрощенная схема воспроизводящего музыку механизма, выполненная по чертежу Жака де Вокансона, изображена на рис. 2.77.

В своих пояснениях он говорил о том, что флейта механического пастуха звучала в диапазоне трех октав: низкой, средней и высокой. Это осуществлялось с помощью мехов трех типов 2, 3, 6 и воздушного распределителя 9.

Часовой механизм, размещенный в подставке андроида, через редуктор 1 приводил во вращение коленчатый вал 5. При его повороте шесть струн поворачивали нижний распределительный вал 4, действующий на рычаги, сжимающие или растягивающие меха 2 и 3. Воздух от них поступал через трубопроводы в воздушный распределитель 9.

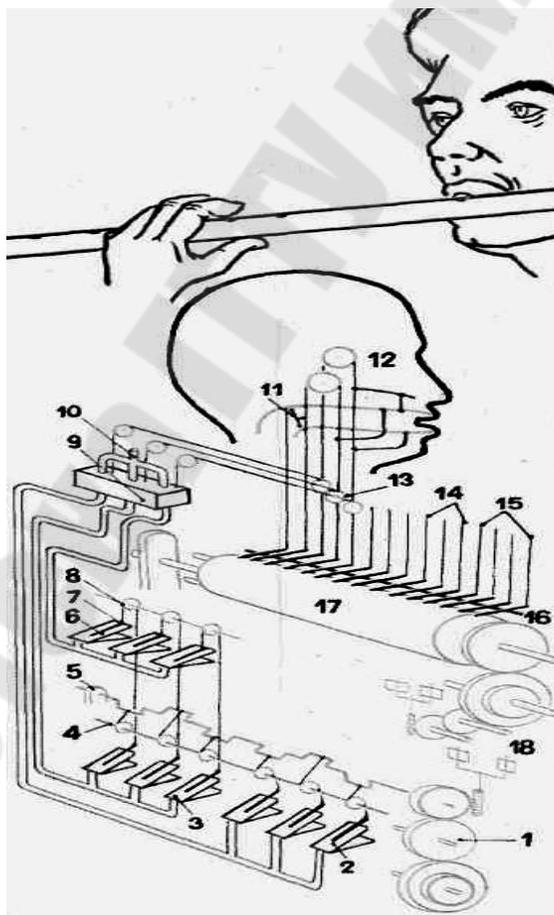


Рис. 2.77. Система звукового воспроизведения мелодий механическим флейтистом

Три верхних меха 6 управлялись от нижних мехов 3 путем поворота верхнего распределительного вала 8 струнами 7. Воздух от мехов 6 подходил также к воздушному распределителю. Из трех его полостей через канал 10 воздух попадал в рот флейтиста.

В качестве программного устройства использовался барабан 17 с ввинченными в него шпильками. Барабан приводился во вращение через червячную передачу, а зубчатые колеса 18 — от основного часового механизма.

При вращении барабана шпильки в определенной последовательности поднимали пятнадцать пластин (позиция 16), которые воздействовали на исполнительные устройства.

Таким образом обеспечивалось управление перемещением пальцев обеих рук. Одновременно двигался язык и вытягивались губы.

Четыре пластины 15 воздействовали на рычаги, управляющие пальцами правой руки, а три пластины 14 — пальцами левой руки. Пальцы руки механического флейтиста открывали и закрывали отверстия флейты. Четыре пластины 13 управляли движением губ, а пластина 11 — положением языка. Другие четыре пластины 12 открывали, закрывали и стягивали губы. Наконец, три пластины 16 изменяли давление воздуха в трех отсеках воздушного распределителя.

Наиболее сложным механическим устройством-автоматом, изготовленным Вокансоном, была утка, которая могла крякать, переваливаться с боку на бок, передвигаться, плавать. Утка клевала зерно и пила воду.

Трактат с описанием пастуха, свирельщика и утки Вокансон представил в Парижскую академию наук. За выдающиеся работы в области прикладной механики и машиностроения его избрали действительным членом этой академии. Изготовленные им андроиды и автоматы в настоящее время сохраняются в кабинете, носящем его имя, в Парижской консерватории искусств и ремесел.

Изобретатели 13 - 16 вв. пытались создать механических людей, способных заменить труд человека. Однако чрезвычайная сложность механизмов уникальных андроидов сделала их только предметами искусства. При разработке механических людей был накоплен огромный опыт в механике, машиностроении и автоматике, оказавший большое влияние на становление робототехники.

В 1774 г. «андроиды» братьев Дро на выставке в Париже пользовались шумным успехом, но когда Анри повез их в Испанию, то святая инквизиция, обвинив его в колдовстве, надолго упрятала за решетку.

В рассматриваемый период были разработаны и изготовлены подзорные трубы, микроскопы, телескопы, пневматические, гидравлические, электрические и др. приборы. Наибольшее распространение получили оптические приборы, из которых одним из первых была оптическая труба, получившая в 17 в. наибольшее распространение в армии и во флоте и вытесненная затем (в 20 в.) биноклем.

В 1650г. В Амстердаме издан трактат белорусского мыслителя-гуманиста и военного специалиста в области артиллерии, Казимира Семеновича, «Великое искусство артиллерии» (рис. 2.78). В этом произведении впервые предложены многоступенчатые ракеты, а также ракетные батареи и их стабилизаторы (рис. 2.79).



Рис. 2.78. К. Семянович. Литография В. и Л. Варецей

В середине 17 в. на смену мушкетам пришли кремневые ружья. Вначале в них использовался для высекания искры кремневый колесцовый замок, изобретенный часовым мастером из Нюрнберга Иоганном Кифусом в 1517 г.

К концу 17 в. число типов орудий стало сокращаться и они стали различаться по весу снаряда и калибру — диаметру канала ствола.

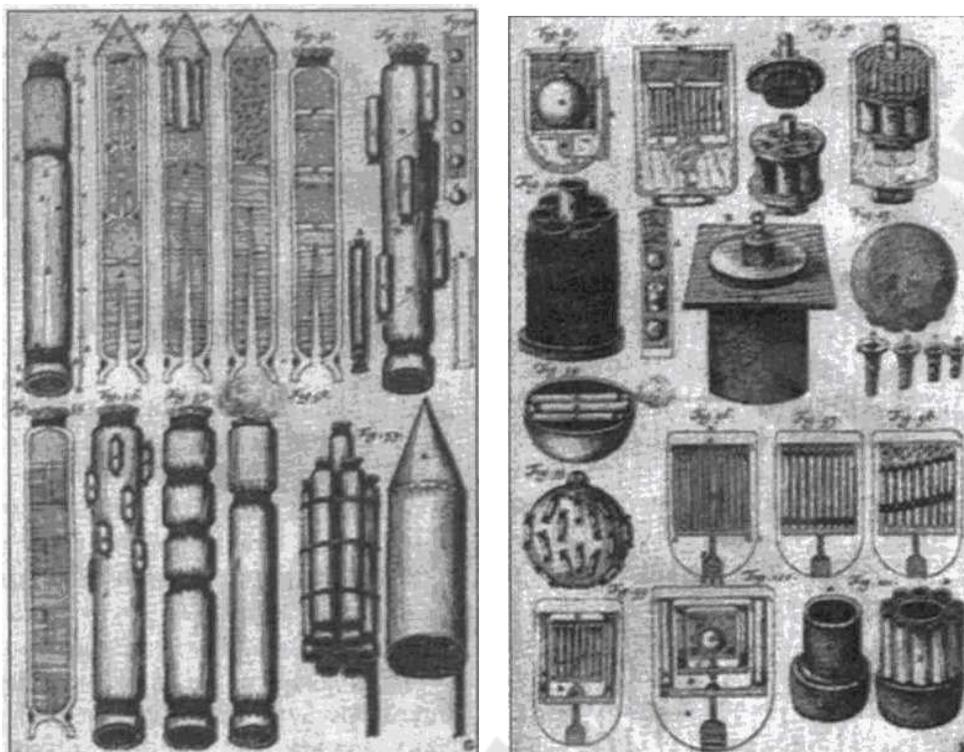


Рис. 2.79. Рисунок с книги Семяновича «Большое искусство артиллерии»

Развитие материалообработки. Развитие металлургии и резкое увеличение производства металла дало мощный толчок развитию металлообработки и совершенствованию металлорежущего оборудования.

В 1701 г. издана в Лионе книга *Шарля Плюмье* на французском языке с параллельным латинским текстом. Латинский текст подчеркивал научный характер книги, поскольку международным языком ученых был латинский. Особое внимание было обращено на раздел «Какое подобает точить железо», так как именно здесь эта область техники впервые особо выделяется и с книги Плюмье непосредственно начинается писанная история обработки металлов резанием на станках. В более ранние периоды техникой обработки металлов на станках владели лишь отдельные мастера-виртуозы.

На рис. 2.80 изображен токарный станок и его детали. Здесь показаны передняя и задняя бабки с центрами 1, зажатая между центрами заготовка 4 и резец 6, опирающийся на поддержку 7. Правильное (и с современной нам точки зрения) размещение резца несколько ниже центра заготовки показано отдельно в верхнем левом углу тонкими линиями.

При наличии колена на стержне сила резания воспринималась массивной поддержкой 7. Уступ, в который упиралось колено стержня резца, предназначен для предотвращения его соскакивания при воздействии поперечной составляющей силы резания. Этот же уступ позволял соблюдать более или менее постоянную глубину резания. Поперечное перемещение поддержки было возможным только при прекращении резания и отводе резца.

На этом же рисунке показано устройство зажимных центров. Центр, изображенный отдельно, имел квадратный хвостовик, кончавшийся цилиндрической частью с резьбой. Его квадратная часть обеспечивала неподвижность относительно бабки, предотвращая вращение в гнезде.

Центр закреплялся в бабке квадратной гайкой, наворачивавшейся на нарезанную часть хвостовика. Естественно, что при этом длина квадратной части хвостовика должна быть менее длины гнезда в бабке.

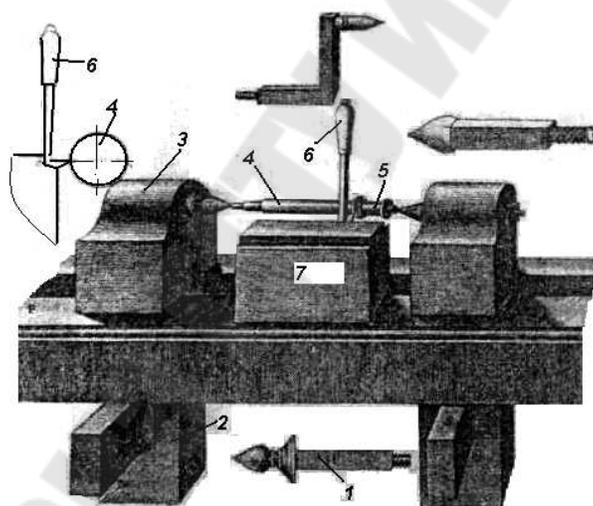


Рис. 2.80. Токарный металлорежущий станок, центра и установка резца. 1701г. по Плюмье

Книге Плюмье в России придавалось весьма серьезное значение. Она имела в личной библиотеке Петра I. По распоряжению Петра I книга была в 1716 г. переведена на русский и параллельно голландский языки. Эта книга, находясь в личной библиотеке Петра I, несомненно была знакома его высококвалифицированным токарям, прежде всего наиболее выдающемуся из них — *Андрею Константиновичу Нартову*, личному токарю, жившему в комнатах самого царя.

Так на рис. 2.81 приведена круглая деревянная коробочка с точно пригнанной крышкой. Ее наибольший диаметр внутри значительно превосходит диаметр входного отверстия. Для получения такой полости токарь должен был использовать расточные резцы, именовавшиеся в России «крюками».



Рис. 2.81. Деревянная коробочка с крышкой, 17в.

А.К. Нартов создал 13 типов токарных станков, среди которых несколько токарно-копировальных (1718-29).

В 1741 г. в Париже вышла книга Тиу, посвященная часовому делу. В ней, впервые в литературе, описан самодвижущийся суппорт токарного станка, предназначенного для обработки деталей часовых механизмов, т. е. станка, имеющего производственное назначение. Вид станков представлен на рис. 2.82. Приведенные в книге станки имеют резцедержатели. Первый станок, помимо шагового винта 8, снабжен еще и сменными шестернями 2,3. Поперечная подача обеспечивается рычажным перемещением резца 4. Качество изготовления фузеи 5 зависело от опытности рабочего.

Кроме этого, дано описание винторезного станка (рис. 2.82 б), снабженного механическим суппортом 7, приводимым в движение с помощью ходового винта 2, находящегося на одной оси со шпинделем и патроном 6. Станок был из металла. Система рычагов 4, 5 заменяла схему привода со сменными шестернями (смена шага резьбы производилась изменением плеч рычагов).

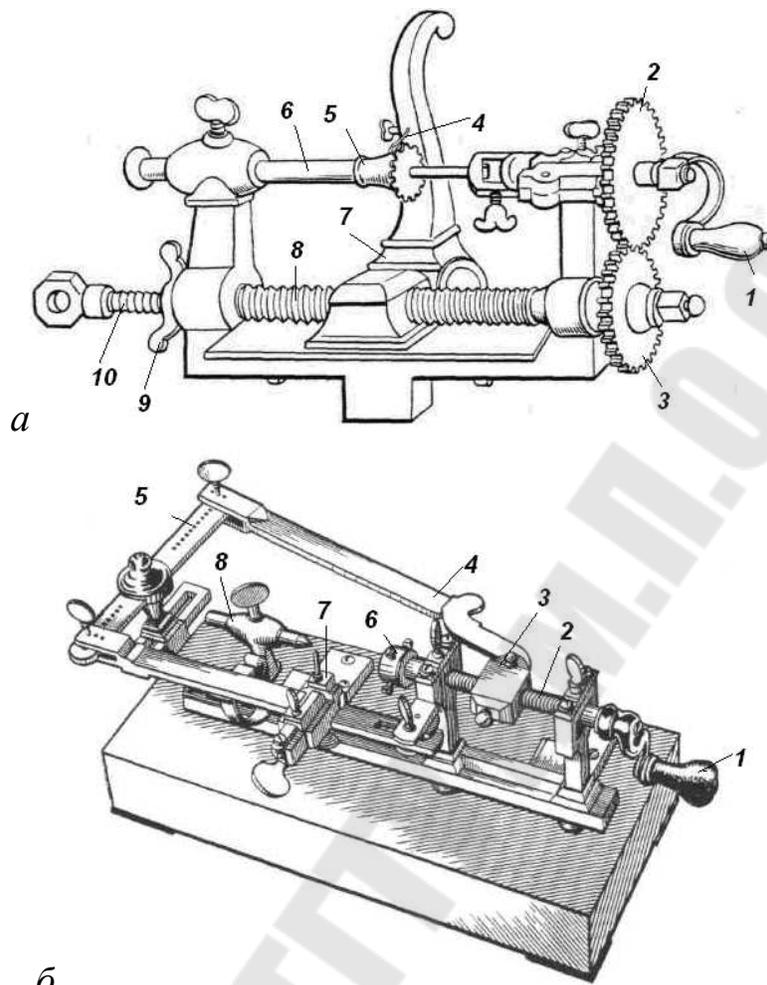


Рис. 2.82. Токарные станки часовщика с механизированным суппортом. 1741 г. По Тиу

Токарно-копировальные станки. Первым фактором развития токарно-копировальных станков явилась потребность изготовления художественных изделий, судя по дошедшим до нас образцам продукции, уже в 17 в. они достигли большой сложности. В 18 в. они были значительно усовершенствованы. Ими почти не пользовались токари-ремесленники.

Другим фактором был вызывавшийся модой спрос на особо затейливые предметы внутреннего убранства жилищ, выточенные из кости и твердой древесины (кубки, вазы, украшения для стола и т. п.).

Третьим фактором являлось широкое распространение в 18 в. табакерок — плотно закрывавшихся коробок для хранения нюхательного табака (порошка). Табакерки, выточенные на токарном станке,

были лучше, чем изготовленные вручную, так как требовали меньшей затраты труда (рис. 2.83).

Четвертым фактором был спрос на художественные барельефы из кости и древесины твердых пород, а иногда и из металлов, получившие большое распространение в 17 и первой половине 18 в. Все эти четыре фактора, действовавшие в 17 и первой половине 18 в., вызывали расцвет работ по конструированию токарно-копировальных станков, их механизацию.

Токарно-копировальные станки той эпохи можно разделить на три основные группы.

К первой группе относятся станки, предназначенные для нанесения сложных узоров на плоскость. Они имели устройства, позволявшие шпинделю перемещаться параллельно своей оси. Шпиндель совершал эти движения в результате соприкосновения периферии посаженной на него копировальной шайбы с копировальным пальцем, укрепленным на станине. Шайбы можно было заменять и этим разнообразить узоры.

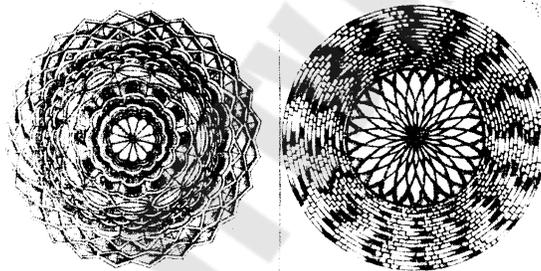


Рис. 2.83. Узоры полученные на токарно-копировальных станках

Ко второй группе можно отнести станки, которые давали возможность получать рельефные изображения на плоскости (типа медалей). Это достигалось тем, что шпиндель совершал колебательные движения вдоль своей оси под действием копировального пальца. Движения передавались резцу, который вырезал изображение. Нередко оба типа описанных устройств объединялись на одной станине.

К третьей группе можно отнести станки, предназначенные для вытачивания объемных изделий сложной формы и нанесения на их поверхности узоров. Это достигалось при помощи устройств, заставлявших шпиндель двигаться также и по криволинейной траектории. Станки этой группы имели особенно сложные кинематические схемы.

Принцип работы одного из токарно-копировальных станков описанных Ш.Плюмье (рис. 2.84 а) состоит в следующем.

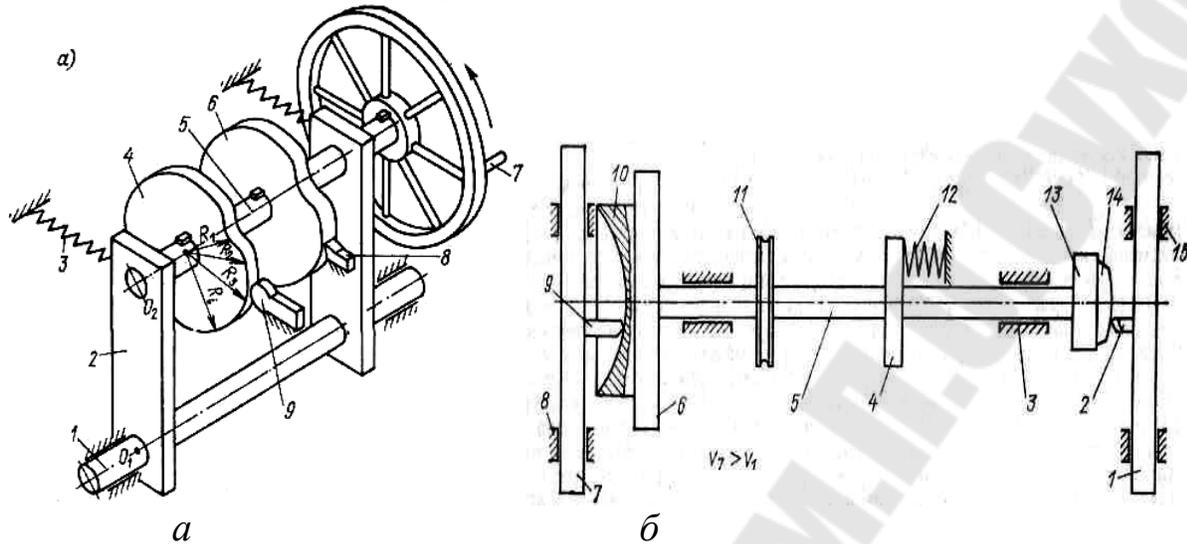


Рис. 2.84. Принципиальные схемы токарно-копировальных станков по Ш.Плюмье, 1701г

Обрабатываемое изделие 6, копир 4, маховик с рукояткой 7 закреплены на шпинделе 5, который свободно вращается в опорах коромысел 2. Оба коромысла жестко закреплены на оси 1; самостоятельный угловой поворот каждого коромысла исключается.

Копир 4 представляет собой цилиндрическое тело с переменными радиусами-векторами R_1, R_2, \dots, R_i . Боковая поверхность копира опирается на торец копировального стержня 9 (в дальнейшем — стержень), который может быть выполнен в виде ролика.

Пружины 3, воздействуя на раму 2—5—2—1, постоянно прижимают копир к стержню 9. Поворачивая рукояткой 7 маховик, а вместе с ним шпиндель 5 и копир 4, тем самым поворачивают коромысла 2 с радиусом $L = O_1O_2$ вокруг оси O_1 . Ось O_2 смещается по дуге на расстояния $R_1—R_2, R_2—R_3, R_3—R_i$ и т. д.

Значение ΔR_i соответствует смещению боковой поверхности копира. Если на шпинделе 5 закрепить заготовку будущего изделия 6, то резец 8 будет срезать излишки материала с заготовки, придавая ей форму копира. Если размеры заготовки соответствуют форме копира, то обработка ведется в масштабе 1 : 1, в любом другом случае обработка будет вестись в ином масштабе в соотношении r_i/R_i , где $r_i < R_i$.

Иным направлением развития токарно-копировальных станков явилась необходимость обработки торцов тел вращения, например объемное изображение рисунка на медали или монете, когда необходимо по крупному изображению воспроизвести в два—восемь раз меньшее изображение на матрице штампа или литейной форме при отливке.

Шпиндель 5 таких станков (рис. 2.84 б) имеет опоры 3, в которых он вращается от шкива 11. На каждом из двух концов шпинделя закреплены планшайбы 6 и 13, к которым соответственно прикрепляют копир 10 и заготовку изделия 14.

Перпендикулярно оси шпинделя 5 с каждой стороны в направляющих 8 и 15 перемещаются суппорт 7 со стержнем 9 и суппорт 1 с резцом 2.

Для осуществления копирования шпиндель с закрепленными на нем планшайбами перемещается вдоль оси под действием пружины 12 через буртик 4, обеспечивая контакт между стержнем 9 и поверхностью копира 10.

Ощупывая конфигурацию изменений копира, шпиндель передвигается вдоль оси, и резец воспроизводит на заготовке изделия все изменения формы копира.

На подобных станках для обработки торца возможны получения впадин на изделии 14 по выступам копира 10; поэтому изображение получается обратным, а по глубине выполняется в одном и том же масштабе.

По диаметрам копира и изделия масштаб m соответствует скоростям перемещения суппортов 7 и 1: $v_7 > v_1$ или $v_7 = mv_1$.

Особенно тяжелыми были условия обработки торцовых поверхностей потому, что через шкив 11 передается постоянное число оборотов и по мере перемещения резца от периферии к центру угловая скорость уменьшается пропорционально радиусу копира, поэтому к центру изделия шероховатость поверхности все время увеличивается.

На рис. 2.86 представлен станок *А.К. Нартова* предназначенный для изготовления объемных рельефов на осесимметричных заготовках. Он служил, во-первых, для изготовления медальонов, чаще всего с изображениями людей, и, во-вторых, для изготовления украшенных геометрическими узорами плоских предметов, например крышек табакерок (рис. 2.85).

Все движения обеспечиваются вращением коленчатой рукоятки 1 (рис. 2.86 в), на одном валу с которой закреплено небольшое зубчатое колесо 2, находившееся в зацеплении с большим зубчатым колесом 3. На последнем закреплен желобчатый шкив 4, связанный перекрестным шнуром со шкивом 5, установленным на одном валу с меньшим желобчатым шкивом 6.



Рис. 2.85. Медальон, изготовленный на токарно-копировальном станке

Движение от шкива 6 передавалось на шкив 7. Шкив 7 установлен на шпинделе 8. К левому торцу шкива 7 шпинделя был прикреплен копир 9.

На другом конце шпинделя 8 был закреплен диск 10. На диске 10 закреплялась обрабатываемая заготовка 11. Кроме того, на шпинделе был закреплен набор 12 из 8 копировальных шайб, служивших для нанесения геометрического орнамента.

Движение подачи осуществлялось следующим образом. Зубчатое колесо 13 находилось в зацеплении с зубчатым колесом 14, установленным на одном валу с малым зубчатым колесом 15. Последнее находилось в зацеплении с зубчатым колесом 16, закрепленным на валике 17, конец которого имел червяк 18. С червяком 18 находилось в зацеплении червячное колесо 19, установленное на валике 20, на котором закреплен червяк 21, находившемся в зацеплении с червячным колесом 22. Валик, на котором установлено червячное колесо 22, имел по концам маленькие шкивы 23 и 24, к которым были прикреплены концы цепочек. Другие концы цепочек были прикреплены к суппортам (см. рис. 2.86 б, в) — копировальному 25 и резцовому 26.

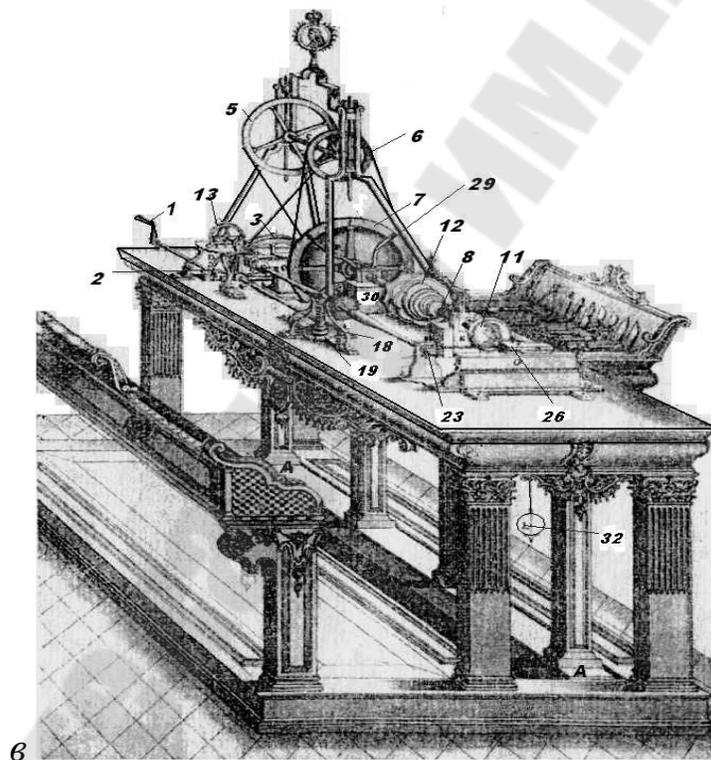
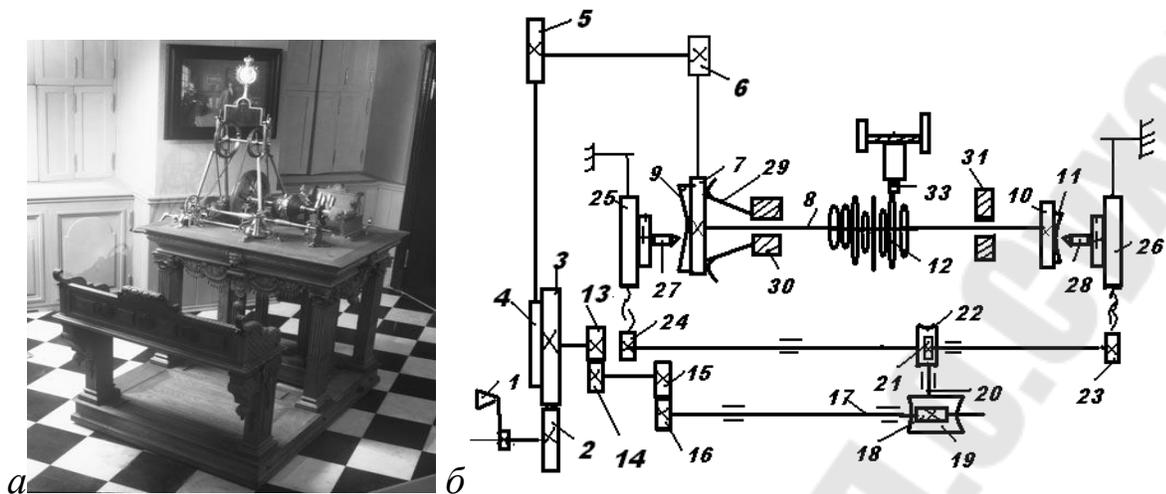


Рис. 2.86. Токарно-копировальный станок (а), его схема (б) и рисунок (в).
Конструктор А.К.Нартов

В суппортах были закреплены соответственно копировальный палец 27 с маленьким роликом на конце и резец 28. При вращении шкивов 23,24 цепочки нависали на них и перемещали при этом суппорты 25 и 26. Ознакомившись со схемами главного движения и движения подачи, можно описать процессы изготовления изделий.

Шпиндель имел возможность перемещаться в своих подшипниках вдоль своей оси под действием листовой пружины 29 . Благодаря действию пружины 29 , копировальный палец 27 всегда был прижат к копиру 9. Так как копир имел выпуклости и впадины, то шпиндель перемещался, отклоняясь в обе стороны от нейтрального положения, вследствие чего изображения на копире и на заготовке получались обратными. Там, где на копире была выпуклость, на изделии образовывалась впадина.

Нанесение резцом геометрического орнамента осуществлялось следующим образом. Шпиндельные опоры 30 и 31 были установлены (см. рис. 2.86) на балансе, укрепленном в станине на цапфах, расположенных на линии АА.

Он был оттянут постоянно в одну сторону с помощью груза 32 так, что одна из 8 копировальных шайб постоянно прижималась к копировальному пальцу 33, снабженному маленьким роликом на конце.

При вращении шпинделя копировальная шайба постепенно всеми своими точками приходила в соприкосновение с копировальным пальцем. Вследствие этого баланс, а вместе с ним и шпиндель совершали сложные движения, соответствовавшие конфигурации копировальной шайбы.

Одновременно сложные движения совершала и обрабатываемая заготовка, на поверхности которой резец наносил следы траектории ее движения, которые образовывали геометрический орнамент. На одну и ту же заготовку можно было нанести узор, получаемый в результате последовательного применения нескольких копировальных шайб.

В своей книге «Театрум Махинарум» А.К. Нартов описал технологию изготовления и сборки нескольких десятков станков.

Значительному совершенствованию подверглись также *сверлильные станки*, которые с первой половины 16 в. стали переводиться на привод от водяного колеса. Сначала на них в основном производили рассверливание (расточивание) ружейных и пушечных стволов, потом стали переходить и на выпуск гражданской продукции.

Технологические процессы изготовления оружия в конце 18 в. немногим отличались от существовавших в начале века.

Изготовление *зубчатых колес* требовало очень больших затрат труда. Сделанные вручную по разметке, даже выполненной со специальными приспособлениями, они не были точными. Потребность в изготовлении

мелких зубчатых колес для карманных часов, получивших к концу 17 в. значительное распространение, вызвала настойчивую необходимость в механизации труда.

Первое устройство для механизации процесса разметки зубьев и их нарезания было описано крупнейшим французским инженером-приборостроителем *Никола Бионом* в 1709 г. под названием «устройство для делания и нарезания колес и шестерен для часов или платформа для часовщиков».

Оно было предназначено для нарезания небольших зубчатых колес. Самой существенной частью устройства для деления являлся изготовленный из латуни делительный диск, имевший в диаметре 7—8 дюймов. На диск были нанесены концентрические окружности, разделенные на различное число частей, четных или нечетных. При делении всегда отыскивали делитель. Точки делений наносились острым кернером.

Делительным диском можно было пользоваться при нарезании зубьев без приспособления для разметки.

В этом случае заготовку колеса надевали на ось, проходившую через центр делительного диска, и разметку вели с помощью линейки, один конец которой ориентировали на центр диска, а другой— на очередное деление соответствующей концентрической окружности.

На рис. 2.87 *а* представлен вид устройства сверху, а на рис 2.87 *б* - сбоку, отдельно вид устройства для фрезерования (*в*), а также узлы: фиксатора-указателя (*г*) и оси с гайками и шайбами для закрепления заготовки (*д*).

Делительный диск 1 помещался между двумя ветвями направляющей планки 2, на верхней ветви которой могло быть в любом месте закреплено с помощью барашка 4 устройство для фрезерования. К корпусу устройства для фрезерования, которое могло перемещаться по направляющей планке 2, шарнирами 5 были прикреплены две стойки 6, в которые жестко вмонтированы штыри с центрами 7. Между последними был зажат квадратный валик 8, на котором посажена фреза 9, а рядом с ней установлен маленький шкив 10. Валик и фреза могли свободно вращаться между центрами. На той же верхней ветви направляющей планки мог быть в любом месте закреплен винтом 11 указатель с фиксатором. Последний устанавливался в соответствующей лунке деления на заданной окружности делительного диска 1.

Работа производилась следующим образом. Заготовка 12 устанавливалась на оси и с помощью шайб и гаек 13 скреплялась с делительным диском. На диске выбиралась окружность с требуемым числом делений и соответственно этому на планке 2 закреплялся указатель 14 и фиксатор 15 устанавливался в лунку деления.

После этого устройство для фрезерования подводилось к заготовке и фреза опускалась до контакта с ним (см. рис. 5.57 б).

В этом положении устройство закреплялось барашками. Затем брался лучок, и его тетивой проводили 4—5 раз по шкивку, расположенному рядом с фрезой, в результате чего углубление между зубьями оказалось прорезанным.

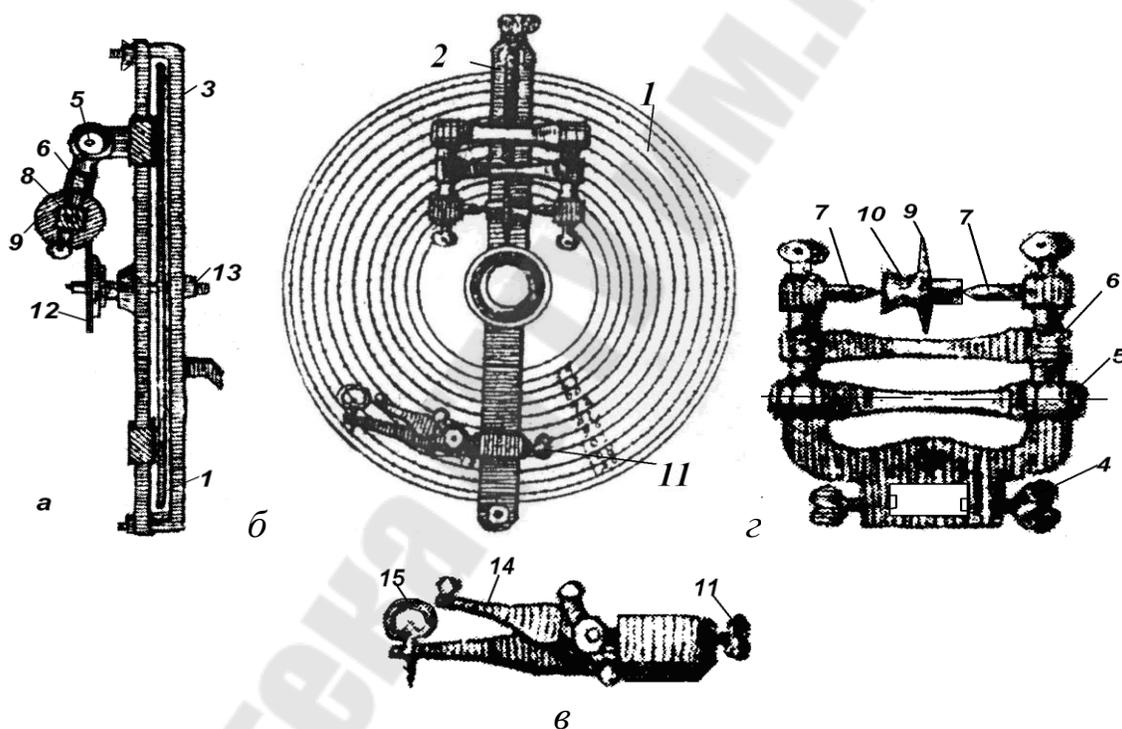


Рис. 2.87. Устройство для фрезерования часовых зубчатых колес. Нач. 18 в. По Н. Биону

Повернув диск так, чтобы фиксатор встал на следующем делении, вновь проводили тетивой лучка по шкивку и получали следующее углубление, и т. д.

В конструкции, описанной Бионом, впервые для нужд обработки металлов были применены совместно делительный диск и фреза, что является весьма важным фактом в области создания металлорежущего оборудования. Никола Бион писал о том, что станок предназначен

только для часовщиков. Его книга в целом была адресована различным специалистам по изготовлению научных инструментов.

А.К. Нартовым в 1724г. был также предложен зуборезный станок.

Станок имел три основных узла: станину, делительно-поворотное и закрепляющее устройство и механизм, служивший для подведения фрезы к обрабатываемой заготовке и ее вращения.

2.7. Развитие механических устройств в период промышленной революции

Промышленный переворот означал резкий скачок в развитии производительных сил, заключающийся в переходе от мануфактуры к машинному производству. Он происходил в эпоху разложения и крушения феодально-крепостнических и утверждения капиталистических производственных отношений. Этот исторический отрезок времени первой прошла Великобритания, затем США, Франция, Германия, Италия, Япония и Россия.

Переворот в промышленности стал возможен благодаря научно-техническому прогрессу (НТП), который заключался во взаимном стимулировании развития науки и техники и ускорении темпов этого развития. В этот период технические знания начинают приобретать теоретический характер, наступает время окончательного формирования научного технического знания, совершенствования его средств и обобщения в форме научной теории.

Развитие средств и способов осуществления технологических операций, накопление и комбинирование элементов, повышающих их эффективность, являлось одной из существенных сторон технического прогресса. Это постепенно вело к вытеснению ручных операций, созданию разнообразных машин и в конечном счете к возникновению машинного производства.

Развитие технической науки и образования. Процесс становления технических наук начался с возникновения наук механического цикла, таких как теория механизмов, сопротивление материалов, детали машин. И это не случайно, поскольку механическая форма движения материи была наиболее широко вовлечена в человеческую практику и ее познание логично предшествовало познанию других, более сложных форм движения материи. Предшествовало этому становление

экспериментального метода, проникновение науки в прикладную сферу, а также интенсивное развитие механики.

Важное значение для развития механики имели работы французского математика и механика Ж. Лагранжа, особенно его «Аналитическая механика» (1788). На рубеже 18-19 вв. возникает прикладная или, как ее тогда называли, практическая механика, занимающаяся непосредственно изучением работы машин, механизмов и сооружений, а также разработкой методов их расчета.

В 1781 г. была издана «Теория простых машин» французского инженера и физика Ш. Кулона, ознаменовавшая зарождение теории механизмов. Весомый вклад в ее разработку внесли и русские ученые С.Е. Гурьев, который в 1806 г. издал работу «Общее правило равновесия с приложением оною к машинам», а также П.Л. Чебышев, опубликовавший в 1853 г. свой труд «Теория механизмов, известных под названием параллелограммов». Будучи не только знаменитым ученым, но и талантливым изобретателем, Чебышев изобрел, построил и исследовал целый ряд чрезвычайно важных для техники механизмов.

В 1820-е гг. вышли в свет важнейшие труды французского математика и инженера Ж. Понселе «Курс механики в применении к машинам» и «Введение в промышленную, физическую и экспериментальную механику».

В рассматриваемый период происходит также становление технической химии, базирующейся на химической форме движения материи и электротехники, в основе которой лежат электрические и магнитные явления. Происходят окончательная достройка научного технического знания, кристаллизация его средств и придание ему статуса научной теории, что и создало предпосылки для окончательного утверждения технических наук.

Развитие производительных сил, породившее потребность в подготовке специалистов естественнонаучного профиля, способствовало усилению наметившейся тенденции к политехнизации обучения в университетах ведущих европейских государств.

Развитию технических знаний во многом способствовал выпуск технической литературы, из которой особенно выделяется труд французских ученых Д. Дидро и Ж. Д'Аламбера «Энциклопедия, или Толковый словарь наук, искусств и ремесел», вышедший в 1779

г. В нем описано состояние техники XVIII в., ее материальные и научные основы.

Началась подготовка специалистов технического профиля и помимо университетов. Во Франции этим занималась учрежденная Г.Монжем и его соратниками в 1794 г. в Париже Политехническая школа, в которой впервые был введен курс теории механизмов. В следующем (1795) году к этой работе подключилась и Консерватория технических искусств и ремесел, являющаяся своеобразным хранилищем собранных моделей, образцов, проектов и чертежей механизмов и машин.

Зарождение и развитие теплоэнергетики. Социальный заказ на универсальный паровой двигатель предопределили как состояние и потребности производства, так и развитие науки и всплеск изобретательской мысли во второй половине 18 в.

Решающая стадия создания универсальной паровой машины непосредственно связана с промышленным переворотом в Англии и главную роль в этом сыграл английский изобретатель *Д. Уатт*. Он начал с того, что в 1769 г. получил патент на одноцилиндровую паровую машину простого действия, в которой рабочий ход осуществлялся под давлением пара, отводимого в конденсатор. Но эта машина не была универсальной, она выполняла узкие функции насоса для откачки воды.

Успех пришел к Уатту в 1774-84 гг., когда он создал свою знаменитую паровую машину с цилиндром двойного действия и запатентовал с целым рядом важных усовершенствований.

Зарождение и развитие электротехники. Первые шаги в исследовании электричества вплоть до конца 18 в. были связаны с электростатикой.

Начало было положено французским физиком *Ш. Кулоном*, открывшим в 1785 г. закон электростатики, названный его именем, и исследовавшим взаимодействие зарядов с помощью им же изобретенных (1784) крутильных весов. В 1791 г. вышла работа итальянского физиолога *Л. Гальвани* «О животном электричестве», где впервые стало фигурировать понятие разности потенциалов. От фамилии Гальвани произошли множество терминов в электротехнике: гальванометр, гальванотехника, гальванопластика и т. п.

Большое значение имело создание в 1800 г. итальянским физиком *А. Вольта* первого химического источника тока под названием «вольтов

столб». С его помощью русский электротехник *В.В. Петров* в 1802 г. открыл электрическую дугу и указал на возможность ее практического использования. Он же первый наблюдал плазму — явление электрического разряда в вакууме, исследовал химическое действие тока, электрические явления в газах, электропроводность и люминесценцию. В 1807-09 гг. английский ученый, основатель электрохимии *Г. Дэви* также исследовал электрическую дугу и с помощью электролиза получил целый ряд химических элементов.

В 1821 г. немецкий физик *Т. Зеебек* открыл явление возникновения термо-эдс в замкнутой электрической цепи, составленной из последовательно соединенных разнородных проводников тока, спаи которых находятся при разных температурах. «Эффркт Зеебека» впоследствии стал использоваться в термоэлементах, применяющихся в измерительной и холодильной технике, термогенераторах и т. п.

Начало электротехнике положил английский физик *М. Фарадей*, открывший (1831) явление электромагнитной индукции, пара- и диамагнетизм, а также законы электролиза (1833-34). *Д. Максвелл*, развивая в 1860-70 гг. идеи Фарадея, создал теорию электромагнитного поля, предсказал существование электромагнитных волн, разработал электромагнитную теорию света и установил статистическое распределение, названное его именем.

Величайшим техническим достижением конца 19 века стало изобретение промышленного электродвигателя. Большими недостатками прежней паровой машины всегда оставались низкий КПД, а также трудность передачи и «дробления» полученной от нее энергии. Обычно одна большая машина обслуживала несколько десятков станков. Движение от нее подводилось к каждому рабочему месту механическим путем с помощью шкивов и бесконечных ремней. При этом происходили огромные неоправданные потери энергии.

Электрический привод не имел этих изъянов: он обладал высоким КПД, поскольку с его вала можно было прямо получать вращательное движение (тогда как в паровом двигателе его преобразовывали из возвратно-поступательного), да и «дробить» электрическую энергию было намного проще. Потери при этом оказывались минимальными, а производительность труда возрастала.

Один из первых совершенных электродвигателей, работавших от батареи постоянного тока, создал в 1834 году русский электротехник

Якоби. Этот двигатель имел две группы П-образных электромагнитов, из которых одна группа (четыре П-образных электромагнита) располагалась на неподвижной раме. Их полюсные наконечники были устроены асимметрично — удлинены в одну сторону. Вал двигателя представлял собой два параллельных латунных диска, соединенных четырьмя электромагнитами, поставленными на равном расстоянии один от другого. При вращении вала подвижные электромагниты проходили против полюсов неподвижных. У последних полярности шли попеременно: то положительная, то отрицательная.

К электромагнитам вращающегося диска отходили проводники, укрепленные на валу машины. На вал двигателя был насажен коммутатор, который менял направление тока в движущихся электромагнитах в течение каждой четверти оборота вала. Обмотки всех электромагнитов неподвижной рамы были соединены последовательно и обтекались током батареи в одном направлении. Обмотки электромагнитов вращающегося диска были также соединены последовательно, но направление тока в них изменялось восемь раз за один оборот вала. Следовательно, полярность этих электромагнитов также менялась восемь раз за один оборот вала, и эти электромагниты поочередно притягивались и отталкивались электромагнитами неподвижной рамы. Принцип работы этого двигателя поясняет рис. 2.88. (Для простоты количество полюсов — подвижных и неподвижных — здесь уменьшено вдвое. Суть от этого не меняется.)

Положим, что в данный момент подвижные электромагниты занимают положение, указанное на рисунке, то есть против каждого полюса неподвижных магнитов стоит одноименный полюс подвижного; при этом каждый неподвижный электромагнит будет отталкивать противоположный магнит барабана и притягивать близлежащий с противоположным полюсом. Если бы полюса неподвижных магнитов не были асимметричны, такое устройство не могло бы работать, так как действие различных магнитов уравнивало бы друг друга. Но благодаря выступу полюсных наконечников неподвижных магнитов каждый из них притягивает ближайший по направлению вращения часовой стрелки слабее, чем другой, из-за этого первый приближается к нему, а последний удаляется. Через четверть оборота (в двигателе

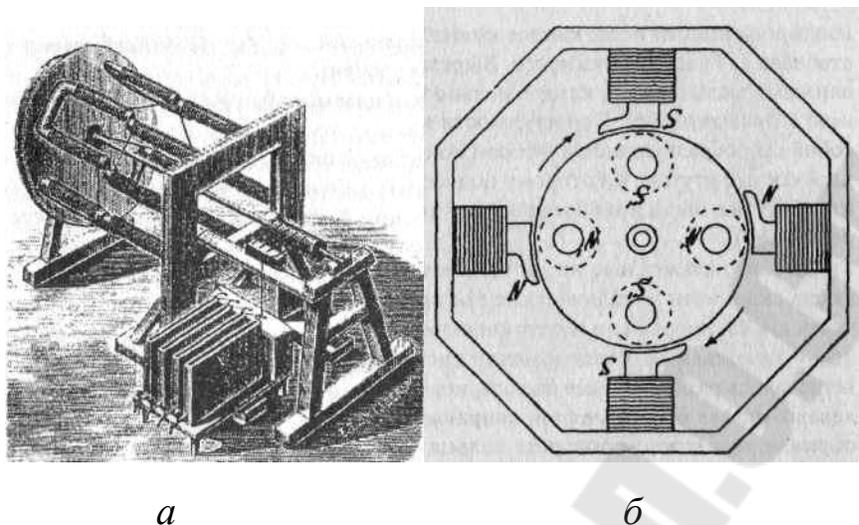


Рис. 2.88 Электродвигатель Якоби (а), и схема его работы (б).

Якоби — через одну восьмую) один против другого будут находиться разноименные полюса, но в этот момент коммутатор меняет направление тока в подвижных магнитах, и один против другого будут опять одноименные полюса, как и в начале движения. Вследствие этого подвижные магниты опять получают толчок к тому же направлению, и так без конца, пока остается замкнутым ток.

Коммутатор представлял собой очень важную и глубоко продуманную часть двигателя рис. 2.89. Он состоял из четырех металлических колец, установленных на валу и изолированных от него; каждое кольцо имело четыре выреза, которые соответствовали $1/8$ части окружности. Вырезы были заполнены изолирующими деревянными вкладышами; каждое кольцо было смещено на 45° по отношению к предыдущему. По окружности кольца скользил рычаг, представлявший собой своеобразную щетку; второй конец рычага был погружен в соответствующий сосуд с ртутью, к которому подводились проводники от батареи (соединения с ртутью были наиболее распространенными в то время контактными устройствами).

Диски, насаженные на вал двигателя, вращались вместе с ним. По ободу диска скользили металлические рычаги, которые, попадая на непроводящую часть диска, прерывали электрическую цепь, а при соприкосновении с металлом — замыкали ее. Расположение дисков было такое, что в тот момент, когда встречались разноименные полюса, контактные рычажки переходили через грань дерево-металл и этим меняли

направление в обмотке электромагнитов. Таким образом, при каждом повороте кольца четыре раза разрывалась электрическая цепь.

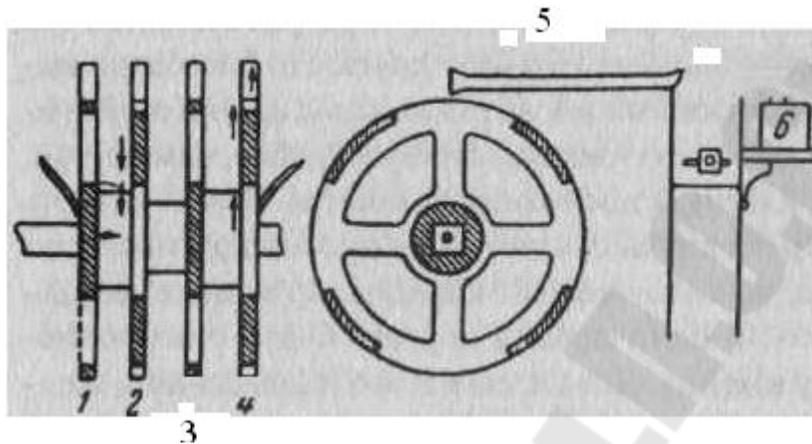


Рис.2.89. Коммутатор Якоби: 1-4 - металлические кольца; 5 — скользящий контактный рычаг; 6 — батарея.

Как уже отмечалось, двигатель Якоби для своего времени был самым совершенным электротехническим устройством. В том же 1834 году подробное сообщение о принципах его работы было представлено Парижской Академии наук.

Источником тока служила мощная батарея гальванических элементов. Понятно, впрочем, что все эти опыты имели чисто демонстрационный характер — до тех пор, пока не был изобретен и внедрен в производство совершенный электрический генератор, электродвигатели не могли найти широкого применения, так как питать их от батареи было слишком дорого и невыгодно. Кроме того, в силу разных причин, двигатели постоянного тока получили лишь ограниченное применение. Гораздо более важную роль играют в производстве электромоторы, работающие на переменном токе, к рассмотрению которых мы теперь переходим.

Сила и направление переменного тока, как мы помним, не являются постоянными. Сила его сначала возрастает от нуля до какой-то максимальной величины и вновь убывает до нуля, затем ток меняет свое направление, возрастает до какого-то отрицательного максимума и вновь убывает до нуля. (Время, за которое величина тока меняется от одного положительного максимума до другого, называют периодом колебания тока.) Этот процесс повторяется с большой частотой. (Например, в

осветительной сети ток в 1 секунду течет пятьдесят раз в одну сторону и пятьдесят раз в противоположную.) Как такое поведение тока будет отражаться на работе электродвигателя?

Прежде всего надо отметить, что направление вращения электродвигателя не зависит от направления тока, потому что при перемене тока изменится полярность не только в якоре, но одновременно в обмотках, отчего притяжение и отталкивание продолжают действовать в ту же сторону, что и раньше. Из этого как будто бы должно следовать, что для двигателя совершенно безразлично, каким током – постоянным или переменным — он питается. Однако это не так. При частом перемагничивании электромагнитов (несколько десятков раз в секунду) в них возникают вихревые токи, которые замедляют вращение якоря и сильно разогревают его. Мощность электромотора резко снижается, и в конце концов он выходит из строя.

Для переменного тока необходима особая конструкция двигателя. Изобретатели не сразу смогли найти ее. Прежде всего была разработана модель так называемого синхронного двигателя переменного тока. Один из первых таких двигателей построил в 1841 году Чарльз Уитстон.

Устройство синхронного двигателя можно пояснить рисунком (рис.2.90). Предположим, что неподвижная часть двигателя (статор) выполнена в виде восьмиполюсного венцеобразного электромагнита, расположенные попеременно полюса которого обозначаются по их полярности буквами N и S . Между ними вращается якорь (или ротор) в виде звездообразного колеса, восемь спиц которого представляют собой постоянные магниты. Их неизменные полюса обозначим буквами n и s . Положим, что через электромагнит пропускается переменный ток.

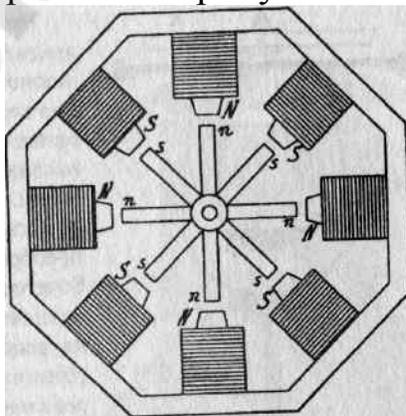


Рис. 2.90. Принцип синхронного двигателя переменного тока

Тогда концы сердечников электромагнита будут попеременно менять свою полярность. Представим себе, что в какой-то момент против каждого полюса электромагнита статора расположен одноименный полюс ротора. Толкнем колесо и сообщим ему такую скорость, при которой каждая спица n пройдет расстояние между двумя соседними сердечниками N и S в промежуток времени, равный тому, в течение которого эти сердечники сохраняют свою полярность неизменной, то есть в период времени, равный половине периода переменного тока, питающего электромагнита. При таких условиях во все время движения спицы от сердечника N до сердечника S все сердечники перемагнитятся, отчего при дальнейшем своем движении спица опять будет испытывать отталкивание со стороны сердечника, оставшегося позади, и притяжение со стороны сердечника, к которому она приближается.

Работавший по этому принципу синхронный двигатель состоял из кольцеобразного многополюсного магнита, полярность которого менялась под действием переменного тока, и из звездообразного постоянного электромагнита, который был насажен на вал и вращался описанным выше образом. Для возбуждения этого постоянного электромагнита требовался постоянный ток, который преобразовывался посредством коммутатора из рабочего переменного. У коммутатора было и другое назначение: он использовался для пуска двигателя, ведь для поддержания вращения ротора синхронного двигателя ему требовалось сообщить определенную начальную скорость. При включении через цепь сначала пускался постоянный ток, благодаря чему двигатель начинал работать как двигатель постоянного тока и приходил в движение. До тех пор, пока двигатель не набрал требуемой скорости, коммутатор менял направление в движущихся электромагнитах. При достижении скорости, соответствовавшей синхронному ходу, у подвижного магнита полюса уже не менялись, и двигатель начинал работать как синхронный двигатель переменного тока.

Описанная система обладала большими недостатками: кроме того, что синхронный двигатель требовал для своего запуска дополнительный разгонный двигатель, он имел и другой изъян — при перегрузке синхронность его хода нарушалась, магниты начинали тормозить вращение вала, и двигатель останавливался. Поэтому синхронные двигатели не получили широкого распространения. Подлинная

революция в электротехнике произошла только после изобретения асинхронного (или индукционного) двигателя.

Действие асинхронного двигателя будет понятно из следующей демонстрации, которую провел в 1824 году известный французский физик Арго (рис.2.91).

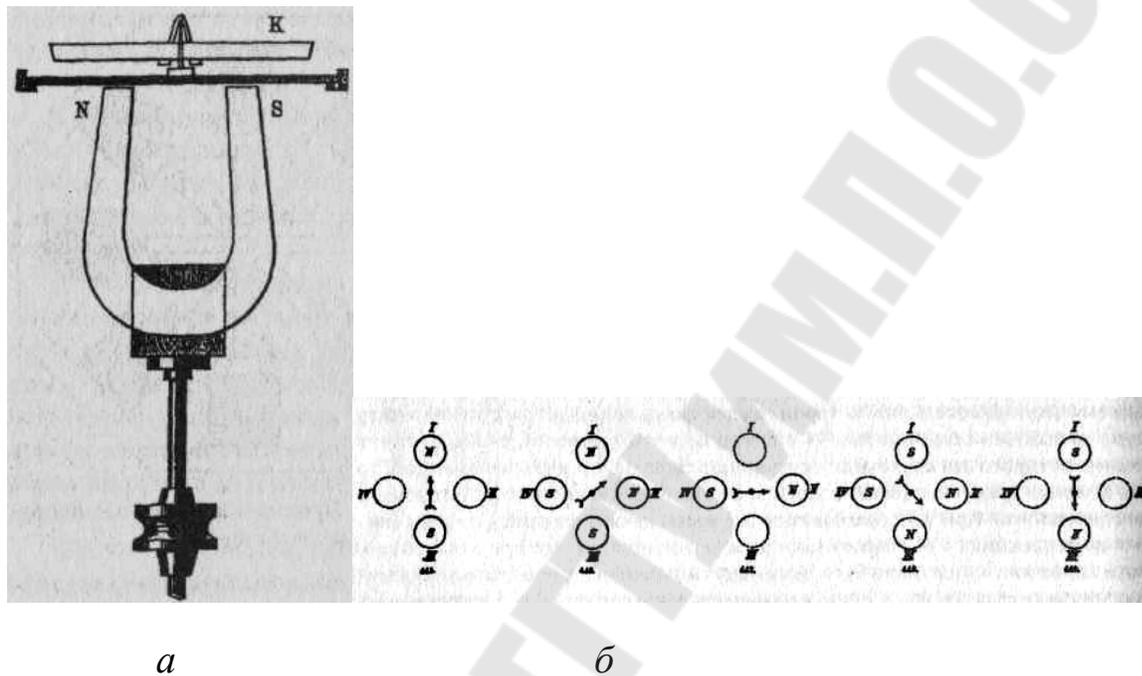


Рис. 2.91. Кружок Арго (а), схема действия (б)

Пусть подковообразный магнит NS приводится рукой в быстрое вращение вокруг вертикальной оси. Над полюсами установлена стеклянная пластина, поддерживающая острие, на которое насажен медный кружок. При вращении магнита индукционные токи, наводимые в кружке, и образованное ими магнитное поле будут взаимодействовать с нижним магнитом, и кружок начнет вращаться в ту же сторону, что и нижний магнит.

Именно это явление используется в асинхронном двигателе. Только вместо вращающегося постоянного магнита в нем применяются несколько неподвижных электромагнитов, которые включаются, выключаются и меняют свою полярность в определенной последовательности. Поясним сказанное следующим примером.

Предположим, что I, II, III и IV — это четыре полюса двух электромагнитов, между которыми помещена металлическая стрелка. Под действием магнитного поля она намагничивается и становится вдоль линий магнитного поля электромагнитов, выходящих, как известно, из их северного полюса и входящих в южный. Все четыре полюса расположены по окружности на одном расстоянии друг от друга.

Сперва ток подводится к II и III. Стрелка остается неподвижной по средней оси магнитных силовых линий. Затем подводится ток ко второму электромагниту. При этом одноименные полюса будут находиться рядом. Теперь средняя направляющая силовых линий магнитов пройдет от середины расстояния между I и II к середине между III и IV, и стрелка повернется на 45 градусов. Отключим первый электромагнит и оставим активными только полюса II и IV.

Силовые линии будут направлены от III к IV, вследствие чего стрелка повернется еще на 45 градусов. Снова включим первый электромагнит, но поменяем при этом движение тока, так что полярность первого магнита изменится - стрелка повернется еще на 45 градусов. После отключения второго электромагнита, как это видно на самом верхнем, последнем рисунке, стрелка переместится еще на 45 градусов, то есть совершит полуоборот. Легко понять, как заставить ее совершить вторую половину круга.

В 1854 г. датчанин *Хиорт* создал генератор с самовозбуждением, а в 1869 г. бельгиец *З. Грамм* разработал во Франции первый практически пригодный генератор постоянного тока с кольцевым якорем и основал промышленное производство электрических машин.

Но в отличие от теплоэнергетики, прочно занявшей свое место в сфере производства, электроэнергетика делала в этом направлении лишь первые шаги. Предпосылками широкого применения этого нового вида энергии явились создание динамо-машины на основе самовозбуждения, надежного электродвигателя и освоение способов передачи сильных токов по проводам.

К рассматриваемому периоду относится зарождение гальванотехники — области прикладной электрохимии, включающей гальваностегию (от гальвано и греч. *stego* — покрываю) и гальванопластику (от гальвано и греч. *plastike* — ваяние). Средства гальванотехники позволяли, используя электролитическое осаждение металлов на поверхность металлических и неметаллических изделий,

изготавливать точные клише для изготовления денежных знаков и ценных бумаг, статуи и барельефы.

Наибольших успехов в первый период гальванотехника достигла в технологии электроосаждения на металлические предметы золота и серебра из их растворов. В 1840 г. *Д. Р. Элькингтон* (Англия) получил привилегию на способ гальванического золочения с применением синеродистых щелочей и хлорного золота. В том же году швейцарский физик *Де-ла Рив* опубликовал также новый метод покрытия металлических предметов золотом. Заслуга *Д. Р. Элькингтона* состояла в том, что он добился получения блестящих золотых покрытий, прибавляя к электролиту несколько капель сероуглерода. При этом осадки золота получались не матовыми, а блестящими и более плотными.

В 1842 г. *Дж. С. Вульрич* получил патент на использование магнитно-электрических машин в технологии электроосаждения металлов. Наряду с использованием золочения и серебрения к 60—70-м годам 19 в. в практику металлургического и металлообрабатывающего производства вошли электролитическое железнение, меднение, никелирование и ряд других процессов.

Зарождение автомобильного транспорта. В первых автомобилях привод от двигателя к ведущим колесам осуществлялся при помощи цепной передачи, которая получила широкое распространение в велосипедах. Цепь давала необходимую гибкость и обладала многими достоинствами, но она очень быстро загрязнялась и требовала почти ежедневного ухода. Поэтому очень скоро ей на смену пришел карданный вал (рис.2.92). (Эта передача между двумя валами была изобретена итальянцем *Кардано* еще в 16 веке).

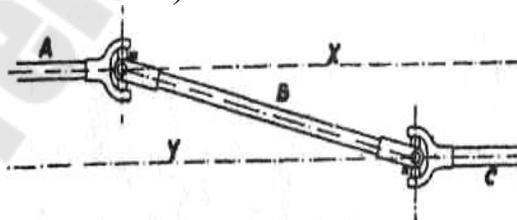


Рис.2.92. Карданный вал: А — ведущий вал мотора; тип — карданные сочленения (шарниры); В — карданный вал; С — вал дифференциала

Соединение задних колес с осью тоже представляет определенную трудность. При движении экипажа по неровной дороге или на поворотах его колеса проходят разные пути, то есть вращаются с разной частотой.

Для ведомых колес, не связанных жестко с осью, это требование выполняется автоматически. Но ведущие колеса нельзя свободно посадить на ось, поскольку через ось к ним передается вращение мотора. Однако и жестко их соединить нельзя, так как в процессе движения будет происходить проскальзывание одного колеса или пробуксовка другого, что резко ухудшает управляемость машиной — она не слушается руля и на большой скорости может не вписаться в поворот. Самыми замечательными можно считать два изобретения: в 1834 году американский инженер *Робертс* изобрел дифференциал, а в 1843 году *Хилль* придумал коробку передач.

Дифференциал служит для соединения задних колес, который и дает возможность ведущим колесам вращаться независимо, не теряя связи с мотором. Чтобы понять принцип действия дифференциала, мысленно разрежем заднюю ось на две полуоси. На внешние концы этих полуосей будут насажены колеса, а на внутренние — две конических шестерни, расположенные параллельно одна против другой. Эти шестерни соединены между собой двумя коническими шестернями-сателлитами и заключены внутри прочного кольца, которое служит корпусом всему механизму (рис.2.93 а).

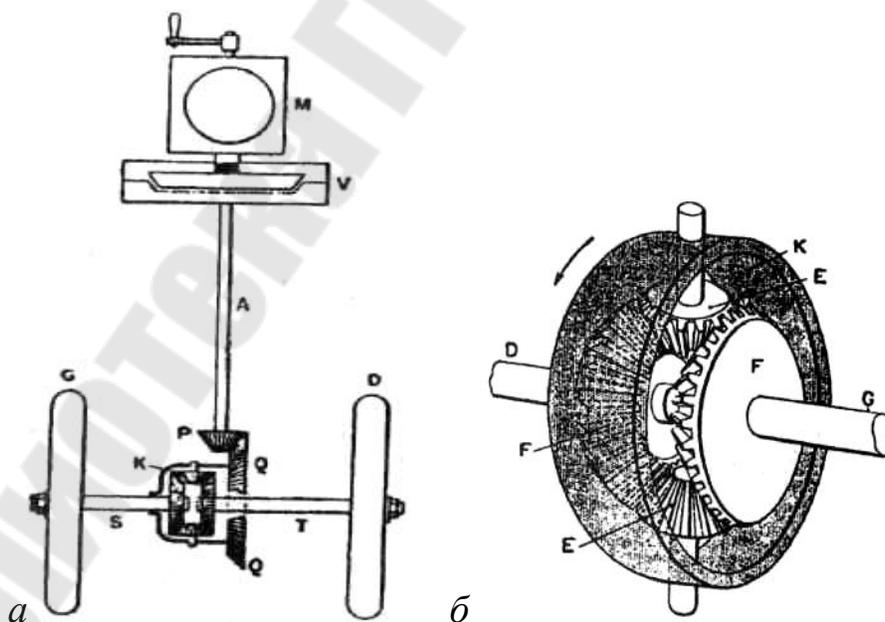


Рис. 2.93. Схема привода колес (а), эскиз дифференциала(б).

Движение от мотора M через сцепление V , передаточный вал A и коническую передачу $P-Q$ передается на коробку дифференциала K , которая прикручена болтами к шестерне Q и вращается вместе с ней. С внутренней стороны коробки насажены два конических зубчатых колеса-сателлита EE , от которых приводятся в движение конические зубчатые колеса FF , наглухо насаженные на концы полуосей S и T , связанных с задними колесами G и D .

Когда автомобиль едет прямо, задние колеса вращаются с одной и той же скоростью, следовательно, сателлиты EE испытывают одинаковое давление и потому остаются неподвижными. При этом вся коробка дифференциала может рассматриваться как монолитная система, действующая так, как будто полуоси S и T жестко связаны между собой. Но если автомобиль делает поворот, то колесо, обращенное внутрь, оказывает большее сопротивление движущей силе. В этом случае одна шестерня F начинает вращаться медленнее, чем другая шестерня F , связанная с внешним колесом, вследствие этого сателлиты начинают вращаться вокруг своей оси и передают усилие с внутреннего колеса на внешнее. К примеру, если шестерня Q (и связанная с ней коробка дифференциала) делает 100 об/мин, то колесо D начинает делать 80 об/мин, а колесо G — 120 об/мин.

Все описанные устройства имели уже первые автомобили (точно так же, как и многие другие атрибуты современных автомашин: систему подвески, рулевые тяги, тормоза, шарикоподшипники и т.д.). Так, например, подвески, рессоры, рулевое приспособление и тормоза достались автомобилю от карет и конных экипажей. Еще в 1640 году англичанин *Блаунт* построил первый экипаж со стальными С-образными рессорами, а в 1804 году английский мастер *Эллот* изобрел так называемые эллиптические или «лежачие» рессоры. В 1818 году *Акерман* придумал устройство для управления экипажем (рис.2.94). В конструкции Акермана передняя ось состояла из трех частей — средней, неподвижной 1, закрепленной с помощью рессор на раме или на корпусе экипажа, и двух крайних частей (цапф) 2 и 3, связанных со средней частью шарнирами А и Б. При повороте колеса вместе с цапфами, на которых они вращались, поворачивались вокруг вертикальной оси шарниров. Точно так же устроена передняя ось автомобиля.

Монолитные резиновые шины также впервые были установлены на каретах — их в 1847 году изобрел англичанин *Хэнком*.

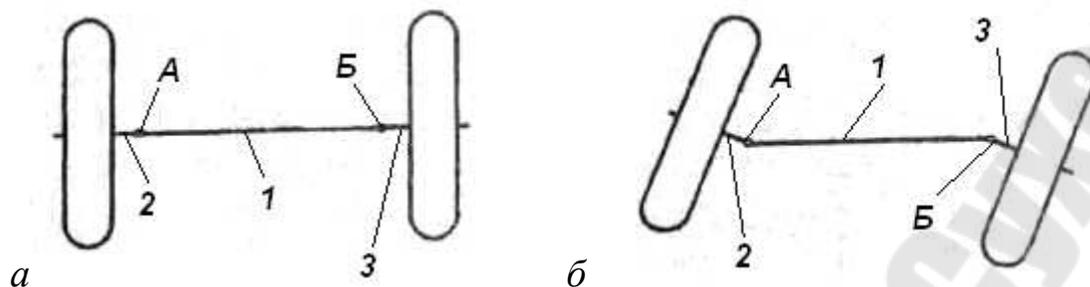


Рис.2.94. Схема поворотного устройства

Первый автомобиль (от греч. autos — сам + лат. mobilis — подвижной), а точнее, паровую повозку, хранящуюся в Парижском музее искусств и ремесел, создал в 1769-70 гг. французский изобретатель *Н. Кюньо*. Это была повозка с паровым двигателем для перевозки артиллерийских снарядов. После него над созданием автомобиля с паровым двигателем работали многие изобретатели.

В конце 1780-х гг. свою паровую повозку построил английский изобретатель *У. Мердок*, занимавшийся совершенствованием двигателя Уатта. «Паровую тележку» в 1815 г. создал чешский механик *И. Божек*, а десять лет спустя французский изобретатель *Пеке* построил грузовик с паровым двигателем и механизмом дифференциала. В то же самое время английский изобретатель *Джеймс* предложил конструкцию четырехколесного парового тягача со всеми ведущими колесами и передачами через карданные валы.

В 1830 г. в Англии и Франции появились первые колесные тракторы (от лат. traĥo — тащу) с паровым двигателем, а в 1837 г. *Д.А. Загряжским* в России был запатентован гусеничный ход, давший толчок к созданию гусеничных тракторов. В 1831 г. на линии Лондон — Стратфорд было впервые организовано движение паровых омнибусов (дилижансов) в качестве общественного транспорта по обычным дорогам. Однако на обычном транспорте, в отличие от железнодорожного, паровой двигатель так и не прижился вследствие громоздкости и низкого КПД, а двигатель внутреннего сгорания (д.в.с.) находился еще в стадии разработки.

В 1860 г. французский изобретатель *Э. Ленуар* создал газовый двигатель, который был признан как первый практически пригодный д.в.с. Пару лет спустя его соотечественник *Д. Роша* выдвинул идею

использования д.в.с. для безрельсового транспорта, которая была осуществлена несколькими годами позже.

Зарождение воздухоплавания. Началось освоение воздушного пространства. Французы, братья *Жозеф и Этьенн Монгольфье* в 1783 г. совершили первый длительный (на расстояние 8 км) полет на воздушном шаре-аэростате собственной конструкции. Именно водородные аэростаты стали в этот период основным видом летательных аппаратов, а их широкое распространение имело место благодаря достижениям химической технологии, позволившей производить в большом количестве водород.

Реализуется идея управляемых полетов и интенсивно разрабатывается идея полетов на аппаратах тяжелее воздуха. В 1852 г. француз *А. Жиффар* впервые совершил полет на аэростате с паровым двигателем, названном дирижаблем (от фр. *dirigeable* — управляемый). А в 1842 г. английский механик *У. Хенсон* подал заявку (и получил патент) на летательный аппарат для перевозки пассажиров и почты, представляющий моноплан с фюзеляжем, верхнерасположенным крылом и двумя толкающими винтами.

Получила практическое осуществление и выдвинутая еще Леонардо да Винчи идея полета и спуска с помощью парашюта (от фр. *parag* — предотвращать -f- *chute* — падение). В 1785 г. француз *Бланшар* первым изобрел парашют, а его соотечественник *Ж. Гарнерен* два года спустя совершил первый прыжок.

3 СОЗДАНИЕ С РОБОТОВ

3.1 Из истории вычислительной техники и программирования

«Головным мозгом» робота является современная ЭВМ. Она способна с высокой скоростью обслуживать любые производственные процессы. Небывалый рост числа роботов в последнее время объясняется их огромными функциональными возможностями для применения в науке и промышленности.

Глубина научного предвидения Чарльза Бэббиджа позволила разработать структуру машины, выполняющей математические операции по заданной программе с передачей управления в процессе вычислений. Только в середине нашего столетия ученые и инженеры смогли изготовить вычислительные машины, работающие на этих принципах.

Двадцатичетырехлетний инженер-строитель Конрад Цузе в 1934 г. сформулировал основные положения об «универсальной цифровой вычислительной машине с программным управлением и хранением информации в запоминающем устройстве». Через год он приступил к изготовлению трехадресной цифровой вычислительной машины, которая должна выполнять арифметические операции в двоичной системе счисления с управлением от перфоленды. В 1938 г. начались контрольные испытания, в которых наблюдались частые отказы механических элементов. Тогда Цузе поменял механические элементы на реле.

Переделанное им в 1939 г. арифметическое устройство, снабженное большим количеством реле, подключено к механическому блоку памяти.

В 1941 г. вычислительная машина с плавающей запятой имела следующие скорости выполнения операций: сложения — 0,3 с. умножения 4 с и деления — 10 с.

В системах управления ракет Фау-1 и Фау-2 применялись аналоговые вычислители, поэтому точность их наведения была невысокой. Пуски ракет на Англию не оказали существенного влияния на ход военных действий на западном фронте. В 1944 г. конструктор ракетного вооружения Вернер фон Браун доложил Гитлеру о возможностях обстрела Нью-Йорка ракетами дальнего действия А-9, А-10.

Для наведения дальней ракеты необходимо было в систему управления ввести многозарядную ЭВМ, способную с высокой точностью решать навигационные задачи.

Цузе в 1958 г. выпустил серию больших универсальных вычислительных машин на электронных лампах с номинальным быстродействием порядка 20 тыс. оп./с и объемом памяти 4096 байт.

Плодотворная творческая деятельность Цузе замалчивалась в истории техники. Мало кто верил, что один специалист мог создавать такие различные типы ЭВМ, которые не только применялись для расчетов и управления, но и были первыми играющими в шахматы с людьми.

В то время как Цузе продолжал свои разработки в Германии, американские ученые тоже работали над проектами создания программируемого компьютера. В 1939 г. научный сотрудник Гарвардского университета Говард Айкин приступил к разработке цифровой вычислительной машины на механических элементах, приводимых в движение от электрического двигателя мощностью в 5 л. с.

Айкин закончил свою машину в 1944 г. Сразу же она успешно прошла испытания и была передана Гарвардскому университету под названием «Марк-1», где проработала 15 лет. Машина производила сложение за 0,3 с; умножение и деление за 5,7 и 15,3 с соответственно; объем ее памяти составлял немного более 600 байт.

Разработчиком программного обеспечения для «Марк-1» была Грейс Хоппер, которая составила серию стандартных программ, крайне нужных программистам при работе на машине. Грейс Хоппер часто обращала внимание Айкина на необходимость внесения ряда изменений в конструкцию машины. Например, предлагала заменить существующие две команды условного перехода на одну, как это было сделано Бэббиджем. Впоследствии Айкин реализовал единую команду условного перехода и ввел дополнительно три устройства считывания перфоленты. Программы, составленные в кодах команд для решения практических задач, часто были чрезвычайно громоздкими, и инженеры-программисты тратили много времени на их отладку.

Вычислительные машины Цузе по своему принципу действия были намного совершеннее машины «Марк-1». Подробное описание тридцатидвухразрядной машины Цузе было опубликовано в США лишь в 1947 г. Цифровая вычислительная машина релейного типа «Марк-1» имела внушительные размеры (рис. 3.1 а).

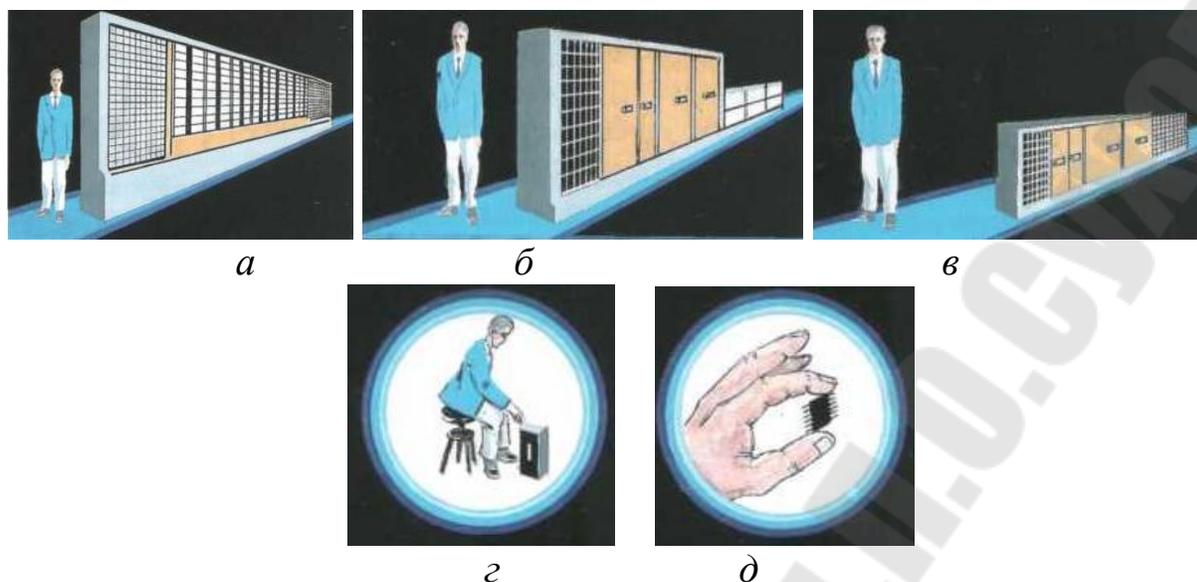


Рис. 3.1. Сравнительные размеры вычислительных машин: релейной (1944) (а), ламповой (1952) (б), транзисторной (1961) (в), на больших интегральных схемах (1967)(г), на сверхбольших интегральных схемах (1987) (д)

Она была собрана из 760 тыс. различных элементов. Длина всех кабельных соединений и проводов составляла около 800 км.

В 1947 г. специалисты американской фирмы «Белл» Дж. Бардин, В. Брайтен и В. Шокли изобрели кремниевый полупроводниковый прибор — транзистор. Вскоре началось промышленное производство транзисторов, и они заменили электронные лампы. Вычислительные машины на транзисторах имели меньшие габариты, обладали повышенной надежностью, потребляли меньше энергии и были более дешевыми в изготовлении и эксплуатации.

Универсальная цифровая вычислительная машина на транзисторах (рис. 3.1 в) намного меньше ЭВМ на лампах из-за отсутствия сложной и громоздкой системы охлаждения, а также за счет уменьшения размеров отдельных устройств. На таких ЭВМ номинальное быстродействие составляло около 200 тыс. операций в секунду, объем оперативной памяти достигал нескольких сотен килобайт.

Но увеличение числа транзисторов с навесными сопротивлениями и конденсаторами приводит к большим размерам печатных плат и значительному удлинению монтажных проводов. В этом случае возрастают временные задержки сигналов и время заряда и разряда паразитных емкостей в монтаже. Уменьшение печатных плат может

быть достигнуто путем миниатюризации элементов в электронных схемах.

В 1950 г. Х. Велнер открыл новое химическое соединение — арсенид галлия, которое стали использовать для создания различных полупроводниковых приборов. Их основное преимущество заключалось в том, что средняя скорость движения электронов в них была в пять раз выше, чем в кремниевых. Они обладали большим быстродействием и потребляли меньше энергии. Быстродействие полупроводниковых приборов имеет значение для их работы на больших частотах с малыми шумами, особенно при приеме высокочастотных сигналов. Однако серийный выпуск арсенидгаллиевых приборов оказался довольно трудным и дорогостоящим из-за необходимости разработки сложной аппаратуры и новой технологии. В дальнейшем были найдены сплавы алюминия, галлия и мышьяка, обладающие еще более высокими характеристиками.

В 1958 г. Джек Килби изготовил первую интегральную схему, а через год Джин Хорни и Роберт Нойс изобрели технологические процедуры размещения на одном кристалле кремния целой электронной схемы. Серийный выпуск устройств на кристаллах был осуществлен фирмой «Интел». Их стали называть интегральными микросхемами. Создание интегральных схем (ИС) явилось важнейшим техническим достижением XX в.

В 1965 г. в США поступили в эксплуатацию первые вычислительные машины на ИС. Они имели номинальное быстродействие 1 млн. операций в секунду при объеме памяти до 200 тыс. килобайт. Машины этого класса обладали исключительной надежностью. В ЭВМ следующего уровня — на больших интегральных схемах (БИС) — номинальное быстродействие было увеличено до 5 млн. операций в секунду при объеме памяти до 2 мегабайт.

В это же время в СССР ученые С.А. Лебедев и В.А. Мельников предложили разработать БЭСМ-10 на ИС с номинальным быстродействием 10 млн. оп./с.

В США направили группу специалистов, обладающих высокими полномочиями, для приобретения лицензии на воспроизводство в СССР американских ЭВМ. По-видимому, эти специалисты недостаточно глубоко ознакомились с перспективами развития вычислительной техники в США и приняли ошибочное решение о выпуске моделей

ИБМ-360, ИБМ-370 крупными сериями. Предполагалось, что воспроизводство ЭВМ фирмы ИБМ позволит поднять уровень отечественной вычислительной техники. Лицензия была получена, и началось освоение зарубежных вычислительных машин. Однако «чудо» не свершилось. Несмотря на огромные затраты, освоение продвигалось крайне медленно. ЕС-1020, ЕС-1030 и ЕС-1050, изготовленные на ИС, работали очень плохо. Начались длительные и мучительные работы по улучшению ЭВМ путем внесения изменений в их схемы. Так появились машины ЕС-1022, ЕС-1033 и ЕС-1055. Математики и инженеры были недовольны их частыми отказами. Для доведения программ до рабочего состояния требовалось много машинного времени.

Снова изменяли схемы, и в вычислительных центрах появилась серия ЕС-1036, ЕС-1061 и ЕС-1066. Однако требуемой надежности не достигли. Часто происходили сбои, особенно при колебаниях напряжений в электрической сети. Возникла необходимость создания независимых источников питания с высокой степенью стабильности, стоимость которых достаточно велика.

Специалисты, занимающиеся воспроизводством зарубежных вычислительных машин, забыли основную заповедь разработчика, которая гласит: «При копировании изделий нельзя вносить собственные изменения, иначе этот процесс никогда не остановится и вместо ожидаемой модели лошади получишь осла».

У руководящих работников наступил период самобичевания. Посыпались фразы: «У нас отсутствуют химически чистые материалы для изготовления машин...», «Мы не располагаем передовой технологией...» и т. д. Однако электронная аппаратура систем управления космическими летательными объектами, создаваемая на отечественных заводах, работала весьма успешно. В чем же причина? Или климат на заводах-изготовителях, расположенных в одном городе, был различным, или люди другие?

Стоимость каждого отлаженного оператора была исключительно велика. Тогда без всякого шума приступили к демонтажу машин «единой серии» и их разборке на детали. Так бесславно закончилась грандиозная эпопея воспроизводства и массового изготовления зарубежных вычислительных машин, которая привела к огромным, ничем не оправданным материальным затратам.

Нужны были новые технические решения. Появились большие интегральные схемы (БИС), которые вытеснили применявшиеся базовые элементы. БИС стали широко использоваться во вновь создаваемых ЭВМ, которые имели небольшие габариты, потребляли мало энергии и были более удобными в эксплуатации (рис. 3.1 *з*). Такая машина могла разместиться в тумбочке малого письменного стола. Следующий шаг в вычислительной технике — ЭВМ на сверхбольших интегральных схемах (СБИС). Размеры ее настолько малы, что она помещается между большим и указательным пальцами (рис. 3.1 *д*).

В зависимости от типа базовых элементов ЭВМ принято разделять на следующие поколения: первое — на электронных лампах, второе — на транзисторах, третье — на БИС, четвертое — на СБИС.

Промышленная интегральная схема представляет собой маленькую кремниевую пластинку, на которую нанесена электронная схема, аналогичная сотням тысяч транзисторов, резисторов и конденсаторов.

Технология изготовления ИС заключается в переносе схемы, вычерченной на большом листе бумаги, на кремниевую пластинку. Для этого на стеклянную пластинку наносится вся схема в виде рабочего фотошаблона. Этот процесс выполняется устройствами формирования рисунка: либо с помощью большого числа вспышек света через щель с механическим изменением размеров, либо электронным лучом. Затем литографическим способом изображение с фотошаблона переносится на кремниевую пластинку. После травления получается интегральная схема.

Наибольшая трудность заключается в реализации процедуры литографии с помощью световых или рентгеновских лучей.

Процесс экспонирования световым лучом происходит следующим образом (рис. 3.2 *а*). Поток света от источника излучения 1 проходит через диафрагму 2, фотошаблон 3 и переносит рисунок на кремниевую пластинку 4. При световом экспонировании минимальный размер элемента ИС составляет 3 микрона, что ограничено влиянием дифракции света. Уменьшение размеров достигается путем применения рентгеновских лучей. Длина их волн намного короче световых, что позволяет довести размер элемента до 0,3 микрона.

В процессе экспонирования рентгеновскими лучами (рис. 3.2 *б*) электронный пучок из пушки 5 бомбардирует мишень 1 изготовленную из материала, создающего рентгеновское излучение. При этом выделяется

много тепла, которое отводится потоком воды. Рентгеновский луч проходит через окно в пластине 2 и поступает на фотошаблон 3. В результате его воздействия на кремниевой пластине 4 образуется рисунок схемы.

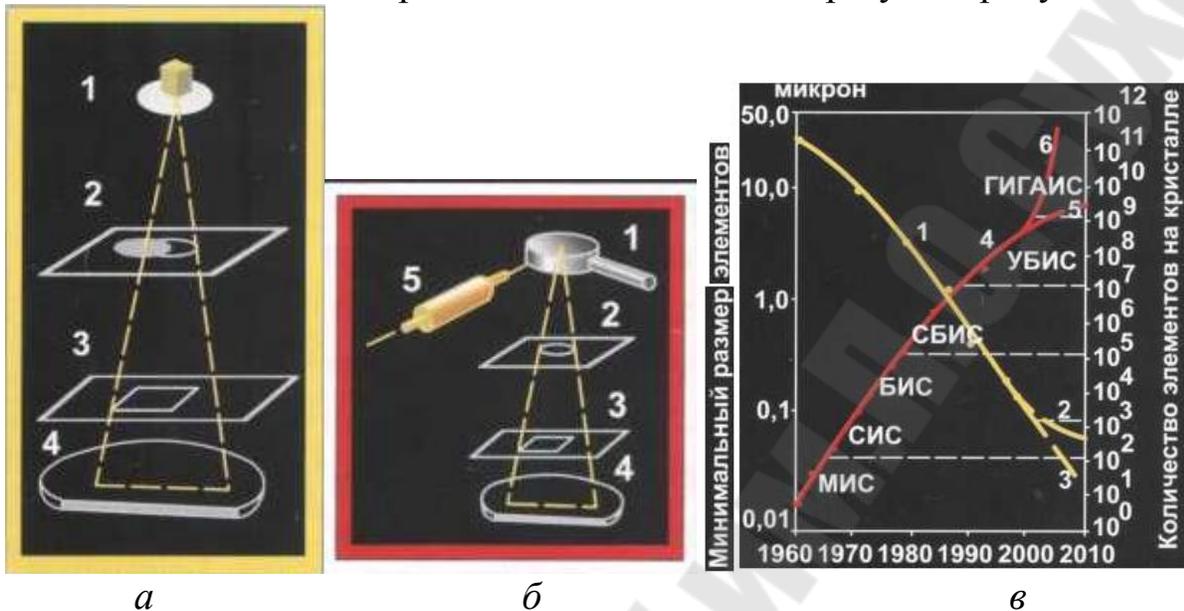


Рис. 3.2. Тенденции развития технологии изготовления интегральных схем

Полученные сверхминиатюрные размеры элементов на микросхемах казались пределом возможностей самых передовых технологий. Но разработчики стали использовать для экспонирования четко сфокусированные пучки электронов, повышать точность установки шаблонов и кремниевых пластин при помощи дифракционных решёток. В результате этого размеры элементов достигли 0.1 микрона. (В зарубежной литературе электронные элементы крайне малых размеров принято называть суперчипами.) Серийное производство таких микросхем может осуществляться на полностью автоматизированных производствах.

Высокое быстродействие интегральных схем на арсениде галлия позволило повысить уровень интеграции и разместить огромное количество элементов на одном кристалле, так как расстояния между проводниками крайне малы. Технология изготовления интегральных схем на основе арсенида галлия и его сплавов более сложная, чем на кремнии. При нагревании таких схем на воздухе не образуется оксидная пленка, которая защищала бы их от разрушения. Поэтому приходится наносить изолирующие покрытия. Кроме этого, при повышенном нагреве происходит испарение мышьяка, который используется для легирования арсенида галлия. Однако все эти недостатки удалось преодолеть.

Битва за сверхминиатюризацию не закончилась. В настоящее время ученые разрабатывают суперчипы, по своим размерам приближающиеся к молекулам.

На рис. 3.2 в представлен график, характеризующий тенденции изменения размеров элементов интегральных схем до 2010 г.: кривая 1 показывает минимальные размеры элементов интегральных схем в зависимости от года выпуска; кривая 2 — прогнозируемые размеры элементов ИС при более совершенных технологиях; кривая 3 размеры элементов молекулярных ИС.

На этом рисунке видно, что в 1960 г. минимальный размер элемента составлял 30 микрон, в 2000 г. — 0,25 микрона, а через 10 лет размеры его уменьшатся до 0,07 микрона. В молекулярных ИС размеры элементов вряд ли будут превосходить 0,02 микрона.

Кривая 4 показывает общее количество элементов, размещаемых на одном кристалле (подложке). В 2000 г. их число составило $4 \cdot 10^8$ элементов, а по прогнозам оно возрастет до $3 \cdot 10^9$. Прогноз роста числа элементов в молекулярной ИС (кривая 6) показывает величину в один триллион. Появление ЭВМ на таких микросхемах ожидается в начале XXI в., который уже получил название «Первый век компьютерной эры».

На рис. 3.2 в тонкими штриховыми линиями выделены границы применения интегральных схем по количеству элементов на кристалле с 1960 г. по 2010 г.: МИС — малые; СИС — средние; БИС — большие; СБИС — сверхбольшие; УБИС — ультрабольшие; ГИГАИС — гигантские. Желтыми точками показаны значения минимальных размеров элементов изготовленных ИС. Красными точками отмечены максимальные количества элементов на одном кристалле.

3.2. Суперкомпьютеры

Стремление ученых понять все процессы, возникающие при расщеплении атомного ядра, постигнуть структуру генов, проникнуть в тайны человеческого мозга потребовало создания вычислительных машин с огромным быстродействием и большими объемами памяти.

Однопроцессорные ЭВМ на СБИС стали заменяться многопроцессорными. Машины этого типа создавались путем соединения нескольких процессоров в конвейерную линию. ЭВМ

работала следующим образом: первый процессор выполнял ряд вычислений, а затем передавал их второму. После чего первый процессор начинал решать следующую задачу и т.д. Управление производилось от одного центрального процессора.

Новый принцип построения конвейерных суперЭВМ предложил малообщительный американец Сеймур Крей — специалист фирмы ИБМ.

Согласно его теории, поступающие в ЭВМ данные могут обрабатываться до того, как завершена обработка предыдущих. Совмещение операций вычислений, выполняемых процессорами, экономит машинное время. Номинальное быстродействие при этом достигает нескольких млрд. операций в секунду.

Из-за трудного характера Крея у него часто возникали разногласия с руководителями фирмы. Он покинул ее и открыл собственную компанию, где в 1985 г. переделал вычислительную машину «Крей-1» и создал четырехпроцессорную ЭВМ «Крей-2» с номинальным быстродействием более 1,2 млрд. операций в секунду. В ее разработке принимал участие способный специалист в области вычислительной техники — Стив Чен.

В 1989 г. закончена разработка «Крей-3» с шестнадцатью процессорами, а затем «Крей-4» — с шестьюдесятью четырьмя.

За короткое время Чен сумел разработать суперЭВМ с большим числом процессоров, связанных с центральной памятью. Фирма ИБМ выпустила несколько таких вычислительных машин с номинальным быстродействием 10 млрд оп./с. Успех окрылил Чена, и он приступил к дальнейшему наращиванию числа процессоров и объема оперативной памяти. При этом быстродействие суперЭВМ достигло 100 млрд, оп./с.

Результат, полученный Ченом, заставил Крея приступить к созданию суперЭВМ с распределенной памятью и временем доступа, зависящим от адреса в памяти. На выпущенных им суперкомпьютерах стали работать тысячи ученых и специалистов в США и Западной Европе. С тех пор Стива Крея стали именовать «патриархом суперкомпьютеров».

С. Крей ввел в вычислительную машину специальные буферные устройства для опережающей «подкачки» данных между процессорами и локальной памятью. Разработанную суперЭВМ ТЗЕ Крей назвал «мельницей». К началу 2000 г. изготовлено более 64 таких машин.

Номинальное быстродействие этой суперЭВМ приблизилось к 1 трил. оп./с. В таких машинах возможна непосредственная загрузка информации в регистровую память.

Крей не поддержал отказ многих производителей суперЭВМ от векторной обработки данных и изготовил несколько машин СВ-1 с векторными процессорами и общей оперативной памятью с симметричным доступом. В подобных машинах векторные процессоры объединялись в группы по четыре. Тогда в узле, содержащем 32 процессора, 24 из них были задействованы в качестве «мультиканальных процессоров с большой пропускной способностью в восемь операций за такт». У серийно выпускаемых СВ-1 обеспечивались только две операции за такт.

Хотя такие суперЭВМ обладали на порядок меньшей производительностью, чем суперЭВМ «мельница», они быстро раскупались пользователями из-за меньшей стоимости и более высокой надежности.

Другой выдающийся американский ученый — Дэниэл Хиллис — разработал и ввел в постоянную эксплуатацию коммутационную вычислительную машину, содержащую свыше 65 000 параллельных процессоров, каждый из которых обладал небольшим объемом памяти. Главное изобретение Хиллиса — гибкая система соединений и переключателей, благодаря которой каждый процессор мог распространять информацию и просить о помощи остальные, моделируя ассоциативные связи человеческого мозга. Система позволяла также перестраивать соединения программным путем, т. е. практически создавать новую машину параллельного типа для решения каждой конкретной задачи.

Основным достоинством коммутационной машины является возможность наращивания большого количества простых и надежно действующих процессоров. С ростом скорости срабатывания переключателей и сокращением времени выбора данных из памяти, удалось достичь номинального быстродействия около одного триллиона операций в секунду.

При увеличении оперативной памяти до нескольких терабайт и применении средств передачи данных со скоростями более 10 000 Мбит/с, суперЭВМ может стать основой вычислительного центра, способного работать с миллионами персональных компьютеров.

Применение суперЭВМ с параллельно действующими процессорами для расчетов и моделирования встречает значительные трудности, свя-

занные с составлением программ. Для решения этой сложной задачи приходится составлять много частных подпрограмм, которые реализуются на суперЭВМ как единое целое. В настоящее время нет ясности, что следует делать с накопленным информационно-программным обеспечением, составленным для обычных ЭВМ.

В 2000 г. фирма ИБМ объявила о создании еще более мощной суперЭВМ, названной «Голубой ген», с номинальным быстродействием 10^{15} оп./с. Эта вычислительная машина будет иметь свыше одного миллиона процессоров и обладать каналами связи с исключительно высокой пропускной способностью. ИБМ изготовила по заказу Министерства энергетики суперЭВМ с номинальным быстродействием 12 трл. оп./с для моделирования ядерных взрывов.

Ведущий разработчик фирмы «Тера» Б. Смит разрабатывает машину со структурой, напоминающей пространственную решетку, в узлах которой размещаются процессоры и блоки. Все они будут работать параллельно. Ожидаемое быстродействие подобной сверхгигантской суперЭВМ превысит 20 трл. оп./с.

В Японии Тосио Симада, работая в электротехническом центре города Цуккуба, отказался от традиционных структур суперЭВМ и создал векторную машину с управлением потоками данных. В ней не требуется координировать работу процессоров, так как их функционирование осуществляется на нескольких уровнях. Схема обработки потока данных напоминает цепную реакцию, протекающую в обратном направлении, от многих узлов (процессоров), расположенных вверху, к одному нижнему.

Изготовленный в 1990 г. по этой схеме суперкомпьютер «Сигма-1» состоял из 128 параллельных процессоров с базовыми элементами из арсенида галлия, работающими на сверхвысоких частотах. Затем он разработал суперЭВМ EM-4, в которой процессоры имеют исключительно высокое быстродействие. В 1993 г. количество таких процессоров увеличено до 1024, а в 1996 г. — до 16384. Испытания показали, что такая машина обладает номинальным быстродействием порядка 1 трл. оп./с.

Другие японские фирмы идут по пути повышения максимальной производительности за счет применения сверхбыстродействующих процессоров. Так появилась суперЭВМ фирмы «Хитачи» CP 8000 моделей E-1 и F-1 с 512 процессорами, номинальное быстродействие которой свыше 12 трл. оп./с. Достичь этого удалось путем

одновременной работы всех микропроцессоров, выполняющих одну и ту же операцию, и дополнительной «подкачки» данных из оперативной памяти без остановки выполнения каждым процессором других команд.

3.3. Нейронные сети и искусственный интеллект

Много веков тому назад люди начали приписывать всем живым существам и даже природным явлениям не только человеческие качества, но и неограниченные интеллектуальные возможности.

Появление «думающих вычислительных машин» связано с использованием нейронных сетей, копирующих принципы работы человеческого мозга.

Нейросети могут опознавать изображения, понимать человеческую речь, принимать наилучшие решения, самообучаться и выдерживать большие повреждения. Отключение секции сети не приводит к ее отказу, так как другие секции берут на себя ее функции и сеть полностью восстанавливает утраченные данные и способность к работе.

Современные нейронные сети создаются из электронных и оптических базовых элементов, образующих параллельную нейроподобную структурную систему.

В искусственных нейросетях базовый нейрон хранит основную информацию, а синапсы выполняют роль переключателей в линиях связи.

Многие специалисты по вычислительной технике сравнивают мозг с параллельным компьютером, в котором одновременно происходит множество взаимодействий, с огромным числом внутренних связей при высокой степени защищенности от сбоев. Модель мозга человека при восприятии и переработке информации нейронно-синаптической системой показана на рис. 3.3.

Процессы моделирования работы мозга осваивались постепенно. Сначала были разработаны модели, способные обучаться. В них использовались ограниченные объемы памяти. Распознавание образов у человека и машины происходит по-разному. Головной мозг человека мгновенно обрабатывает весь образ в целом, а вычислительная машина — по частям, связанным друг с другом и хранящимся в памяти машины.

Запоминание образа человеком происходит в реальном времени и остается в памяти. Образ вызывается из памяти мгновенно и без искажений по ряду дополнительных признаков.

Например, образ знакомого человека можно извлечь из памяти по голосу, по запаху одеколона или вкусовому ощущению, полученному при встрече, на обеде и т. п.

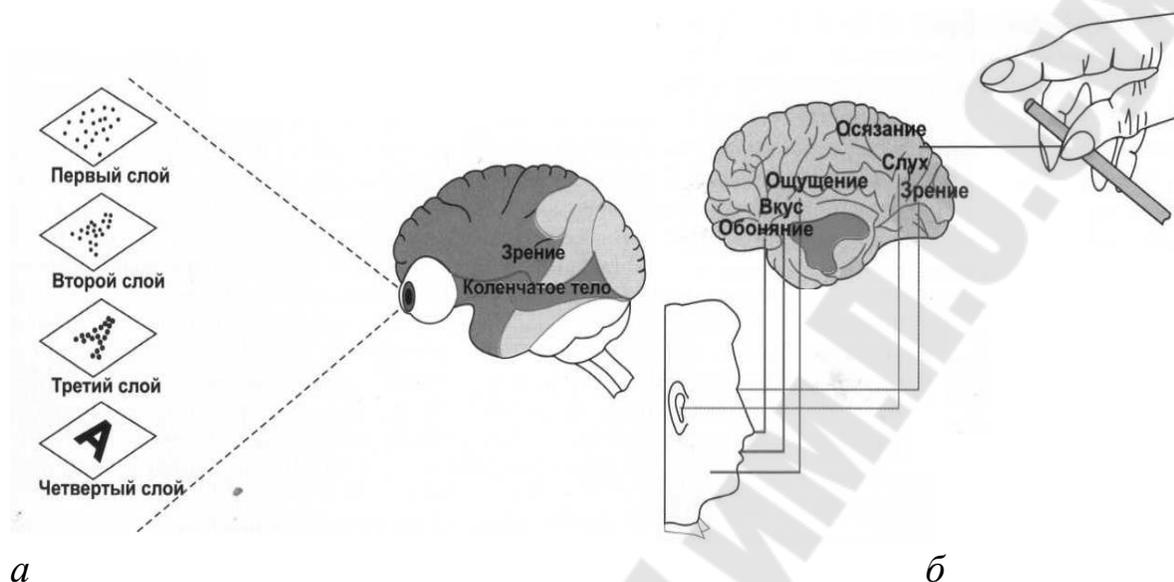


Рис. 3.3. Модель мозга человека при восприятии и переработке информации нейронно-синаптической системой

В процессе запоминания в нейронах возникают изменения, связанные с молекулярными преобразованиями в дендритной древообразной сети, передающей информацию к нейрону (рис.3.3).

Подобные сети имеют сложное строение, поскольку только единственный нейрон может получать до 200 000 сигналов от отдельных нервных окончаний, находящихся в одной дендритной сети. В головном мозгу содержится более 40 миллиардов нейронов, поэтому любой образ, занимая определенное место в дендритной сети, не вносит никаких ограничений в память. Человек способен воспринимать бесконечное число образов и хранить их в памяти.

Рассмотрим восприятие окружающей среды органами чувств.

На рис. 3.3 *а* показано восприятие сетчаткой глаза изображения буквы А, которое через колочатое тело передается в головной мозг, где оно анализируется (выделено на рисунке розовым цветом). Затем определяется его расположение относительно других предметов и происходит уточнение внешнего вида (выделено желтым цветом). Получение качественного изображения буквы А происходит в четырех слоях. В первом — в размытой форме, во втором и третьем — с более высокой четкостью и в четвертом — без всяких искажения.

На рис. 3.3 *б* показана передача сигналов от органов чувств к головному мозгу: коричневые линии — это обоняние и вкус, красная — ощущение кожей температуры, зеленая — слух, синяя — зрение, черная — осязание.

Все сигналы в головном мозгу взаимодействуют друг с другом и помогают человеку правильно воспринимать окружающий его мир.

На рис. 3.3 *в* показана упрощенная схема нейрона. На ней видно, что нейрон представляет собой сложную биологическую систему, в состав которой входят дендритная сеть, хранящая зрительные или извлеченные из памяти образы; ганглийные отростки, служащие для приема зрительной и звуковой информации; сома — тело нейрона; отростки нейронов от других органов чувств; аксон, определяющий взаимодействие с другими нейронами; синапсы, получающие электрические сигналы от аксона и передающие их с помощью специального химического вещества — нейромедиатора — дендриту другого нейрона.

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

На рис. 3.3 *в* справа, изображено мембранное прохождение нервного сигнала, передаваемого от аксона через синаптическую щель дендриту.

Луковица синаптического окончания содержит множество пузырьков с нейромедиаторами. Если потенциал электрического сигнала достигает определенного уровня, то в синаптической щели образуется много нейромедиаторов, поступающих на рецепторы луковицы окончания дендрита. После их приема мембрана очищает синаптическую щель и подготавливает синапс к приему следующего сигнала. Процессы запоминания информации и обучения заключаются в изменении величины нервных сигналов, передаваемых через отдельные группы синапсов.

Изучение функционирования синапсов показало, что они разделяются на возбуждающие и тормозящие. Сигнал поступает к нейрону, когда через синапс проходит возбуждающий электрический потенциал, превышающий тормозящий на некоторую пороговую величину (порог возбуждения). Явление торможения предотвращает чрезмерное возбуждение нейронов. При совместном действии возбуждающих и тормозящих нейронов повышаются избирательные функции органов чувств человека.

Имеются и более сложные модели человеческого мозга, на которых было показано, что процессы синаптического торможения усиливают разницу между полученными сигналами и тем самым повышают правильность принятия человеком решений в различных ситуациях.

Мозг пользуется способом поиска требуемой информации по типу ее содержания или по другим сопутствующим признакам. В процессе запоминания информации участвует большое число нейронов, что обеспечивает сохранность этой информации при гибели некоторой части нейронов. Мозг обладает способностью перестраиваться, когда некоторые участки его в силу различных причин утрачивают свои свойства.

Появление компьютеров, построенных на нейронных сетях, явилось дальнейшим этапом развития вычислительной техники. Новые компьютеры получили широкое практическое применение особенно после теоретических работ Д. Хопфилда (1982—1984) и Д. Румельхарта (1986), которые предложили методы коллективного взаимодействия вычислений и матричные процессоры для обработки данных. На этой основе в США были изготовлены кристаллы с пятью процессорами, обеспечившими номинальное быстродействие около 1 млрд, оп./с.

Изучая физическую природу нейронных сетей, обрабатывающих данные в аналоговой форме, разработчики пришли к идее создания аналоговых микросхем. В результате стали развиваться два направления: нейронные сети на аналоговых и на цифровых базовых элементах.

Аналоговые нейросистемы фирмы «Интел» с 64 нейронами и 10 тысячами синапсов достигли быстродействия 2 млрд, оп./с, а цифровые системы с 16 нейронами и 256 синапсами — 400 млн. оп./с.

Конструкторы нейронных систем стали объединять аналоговые и цифровые нейросистемы в комбинированные. Такой системой является изготовленный в США нейроклассификатор с 7 нейронами и 426 синапсами, имеющий номинальное быстродействие 20 млрд, оп./с. Комбинированные системы использовались в нейрокомпьютерах «Синапс» (США) и «Синапс-1» (Германия), каждый из них содержал по 512 нейронов при номинальном быстродействии 10 млрд. оп./с.

Для решения широкого класса задач с 1992 г. выпускаются большие серии нейропакетов, которые подключаются в виде подсистем к информационным вычислительным машинам.

В России в качестве программных средств для работы с нейропакетами используется система Матлаб с рядом приложений по процедурам обработки информации. В дальнейшем появились нейронные платы с большими логическими возможностями, которые присоединялись к супер ЭВМ и образовывали мощные вычислительные центры. Нейроплаты могут иметь до 100 миллионов синапсов при номинальном быстродействии 10 млрд. оп./с.

Структурные схемы нейроплат и нейрокомпьютеров, в основном, определяются применяемыми методами обучения. Сначала рассмотрим несколько простейших схем нейронных сетей, основанных на применении независимых слоев обучения.

Каждый базовый нейрон сети связан со всеми нейронами предыдущих слоев обработки данных.

На рис. 3.4 *a* изображена структурная схема слоя, состоящего из трех базовых линейных нейронов и двенадцати синапсов. В этом случае сигналы с базовых выходных нейронов полностью отражают информацию с входа. Если поместить несколько нейронов в выходной слой и обучать каждый из них независимо, то на выходе будем иметь

одну и ту же информацию. Для получения разнообразной информации на выходе вводятся дополнительные линии связи между нейронами.

Воспользуемся правилом обучения Е. Ойя, по которому значения входов восстанавливаются по всей выходной информации. На рис. 3.4 б показана однослойная сеть Ойя с тремя базовыми нейронами и двадцатью четырьмя синапсами.

Способность нейронных сетей выбирать наиболее важные признаки в массивах информации и обучаться по простым локальным правилам намного повышает возможности современного статистического анализа и позволяет выполнять операции линейного сжатия информации. При замене базовых линейных нейронов нелинейными происходит еще большее сжатие информации и уменьшается влияние помех в линиях связи.

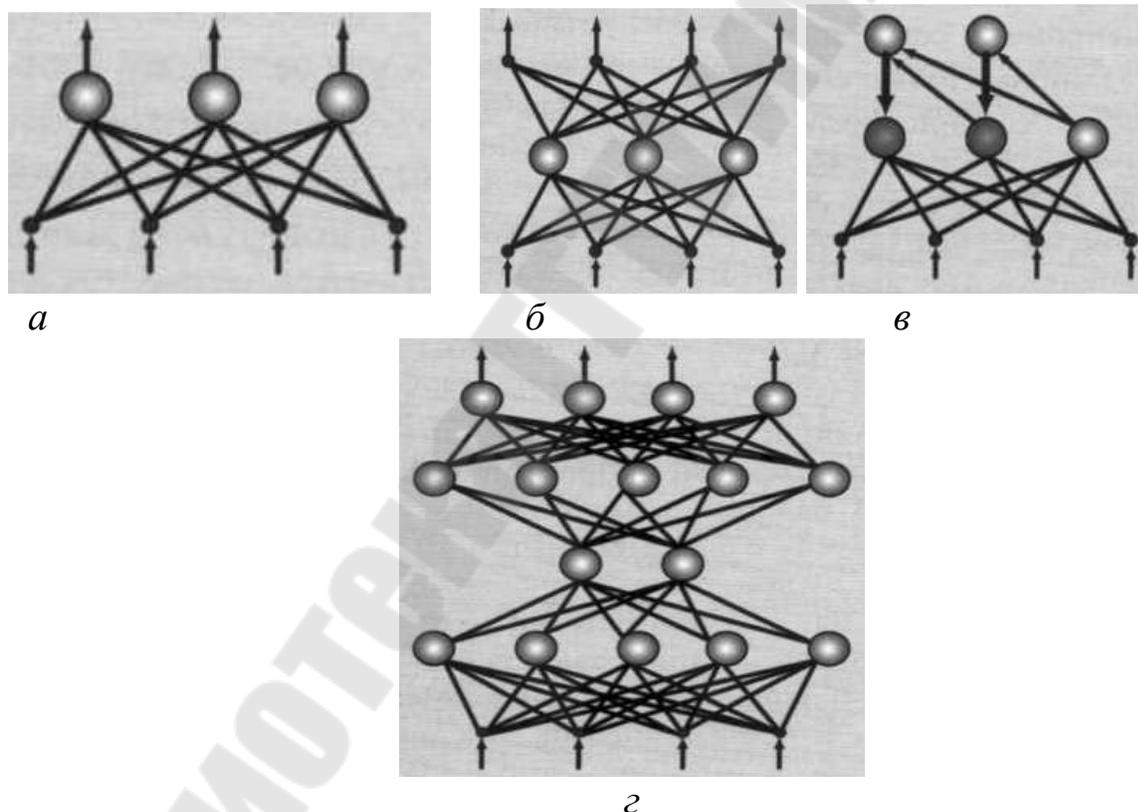


Рис. 3.4. Структурные схемы нейронных сетей с обучением и самообучением

Использование нелинейных автоассоциативных связей приводит к понижению размерности. В таких сетях, которые содержат средний слой нейронов, в результате обучения будут выдаваться сжатые данные, и

первый «скрытый слой» осуществит нелинейное кодирование, а последний - декодирование.

Возникновение локальных минимумов и трудности в обучении снижают практическую ценность такой нейросети.

Перейдем к более эффективным схемам сжатия информации, основанным на сетях с предикторами, предсказывающими минимальный и максимальный квадраты разности текущих и средних значений сигналов второго слоя базовых нейронов (выделены темным цветом и связаны с верхним слоем жирными линиями).

Одна из таких схем приведена на рис. 3.4 в. К важному преимуществу таких сетей с предикторами относится возможность учета связей между статистически независимыми признаками и признаками, зависимыми при обучении.

На рис. 3.4 г показана структурная схема понижения размерности входов с помощью нейросетей с самообучением по методу главных нелинейных компонент (входных сигналов). Эти сети способны восстанавливать пропущенные значения данных на основе итерационной процедуры $H_1—H_3$.

Представленные на рис. 3.5 линейные и нелинейные нейронные сети обеспечивают понижение размерности с помощью различных методов. Сначала рассмотрим схему с послойным обучением, предложенную американским ученым Нехт-Нильсоном в 1987 г. (рис. 3.5 а). Эта схема является гибридной и обычно используется для восстановления пропущенных данных. Отсутствие на входе нескольких компонент не мешает определению нейрона-победителя (выделен темным цветом и связан жирными сплошными линиями с нейронами второго слоя). Так как сравнение ведется и по оставшимся компонентам, то все остальные нейроны находятся в одинаковом положении.

В 1989 г. Р. Нехт-Нильсон предложил нейросеть, пользуясь которой можно одновременно анализировать множество неточных параметров, не требуя формализации правил выбора. Созданные в последние годы огромные базы данных позволили широко применять нейронную сеть Нильсона. Эта сеть использует процедуру извлечения правил из обученных сетей способом автоматической генерации экспертных данных. Процедура извлечения правил заключается в следующем: сначала происходит обучение нейронной сети до получения требуемого уровня классификации; затем — прореживание сети (удаление лишних связей,

не приводящих к возрастанию ошибок); далее — формирование правил с помощью бинарных нейронов и кодирование области изменения параметров на конечное число интервалов.

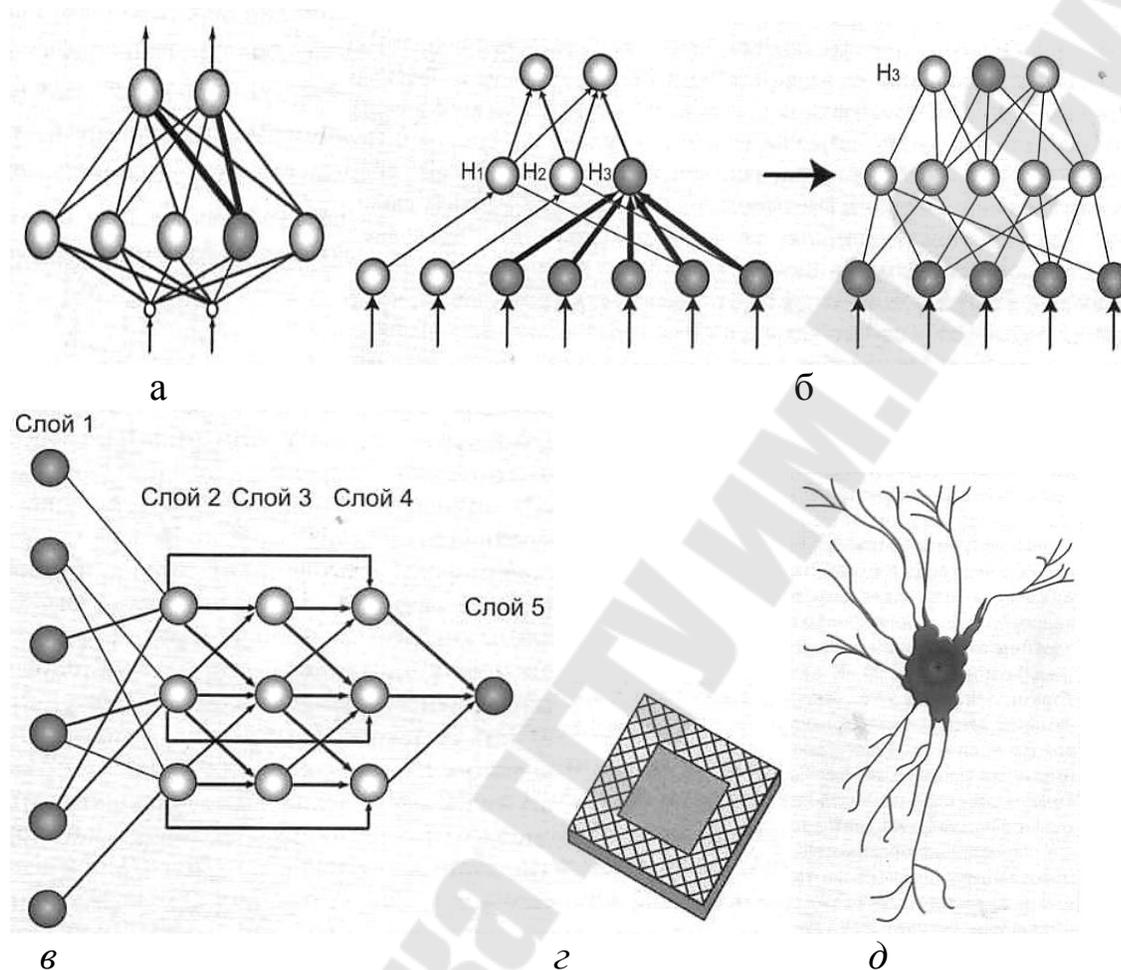


Рис. 3.5. Линейные и нелинейные нейронные сети с восстановлением пропущенных данных и понижением размерности

Проиллюстрируем данную процедуру на примере нейронной сети, изображенной на рис. 3.5 б, где базовые нейроны второго среднего слоя связаны с первым слоем и состоят из четырех слоев. Жирными линиями показаны положительные связи. Последний нейрон H_3 имеет наибольшее число линий связи. Воспользуемся правилом и заменим базовый нейрон вспомогательной сетью с тремя выходными нейронами, как это показано на рис. 3.5 б справа, по жирной стрелке. При большом количестве связей такая процедура может продолжаться до тех пор, пока

их число не станет достаточно малым или вспомогательная (правая) сеть не будет иметь возможности дальнейшего упрощения.

В последнее время предложена другая процедура, при которой выявляются и удаляются данные, выпадающие из общей выборки, а также производится замена искаженных данных на правильные значения. Популярными стали методы обучения, основанные на целом ряде закономерностей.

Например, методы, использующие порождающие деревья, аппроксимирующие поведение обученной сети. Оказалось, что нейросети способны самообучаться в условиях нечеткой логики. В этом случае пользуются наборами нечетких правил, меняющих темп обучения в зависимости от полученной средней квадратической погрешности в выходном слое.

Сеть быстро обучается на начальном этапе, а на последующих не допускает повышения величин ошибок. В программах используются понятия лингвистических переменных на естественном или искусственном языках, когда каждой из лингвистических переменных ставится в соответствие некоторая нелинейная функция принадлежности.

Рассмотрим *пример* процессов обучения с нечеткой логикой, в котором качество технологических процессов определяется оценкой уровня падения производства, характеризуемого следующими словами: «весьма слабое», «слабое», «незначительное», «заметное», «существенное» и «катастрофическое». Тогда если при поступлении в нейронную сеть наборов технологических процедур из нее выдаются слова об ухудшении качества производства от «заметного» до «существенного», то это указывает на недопустимость предложенных технологий. Если происходит чередование слов, характеризующих качество производства, то необходимо производить доработку технологических процедур.

Для создания системы самообучения с нечеткой логикой в нейронной сети каждое слово (понятие) следует представлять в виде кривой на плоскости, характеризующей изменение производства в зависимости от уровня технологии. Кривые должны быть представлены в виде графиков с цифрами по осям абсцисс и ординат.

В этом случае удастся сформулировать определенные количественные правила, по которым нейронная сеть в процессе самообучения сама выбирает по кривым и оценкам качества производственных процессов требуемые технологические процедуры.

На рис. 3.5 в слева, показана структурная схема нейронной сети, входами в которую являются лингвистические переменные (первый слой), а выходами во внутренних слоях — нечеткие правила, реализуемые в виде значений уровней (во втором и третьем слоях) и их дальнейших произведений (четвертый слой). Выходной базовый нейрон (пятый слой) суммирует воздействия, снимаемые с четвертого слоя. Как видно на рис. 3.5 в, что в нейронной сети с нечеткой логикой все величины связей между базовыми нейронами заменяются нелинейными преобразованиями.

Мощные современные нейрокомпьютеры, снабженные универсальным программным обеспечением, подошли вплотную к формированию процессов самопрограммирования.

На рис. 3.5 г изображен нейропроцессор, изготовленный из элементов крайне малого размера на основе нанотехнологии. Процессор обладает высоким номинальным быстродействием и может быть подключен к ЭВМ, имеющей большой объем памяти.

Нейропроцессор состоит из 1024 нейронов и 1 048 576 синапсов. Такая вычислительная система в состоянии обслужить сложные производства, оснащенные множеством роботов. Для сравнения на рис. 3.5 д показан с огромным увеличением нейрон головного мозга.

Располагая десятью тысячами искусственных нейронов и сотнями миллионов синапсов, соединенных в сложную единую сеть, можно создавать нейрокомпьютеры, равноценные носителям интеллекта.

На современных суперЭВМ пользователи научились находить наилучшие решения в задачах при наличии неопределенности. При ближайшем рассмотрении оказалось, что полученные решения аналогичны экспертным оценкам. Реализованные вычислительные процедуры, как правило, достаточно громоздки. Человек же часто принимает правильное решение, не прибегая к сложным логическим оценкам, как бы не задумываясь.

Природа наделила его врожденной интуицией, которую еще не удалось формализовать.

3.4. О возможностях вычислительных машин

Важнейшим этапом развития человечества в конце XX в. является широкое внедрение вычислительной техники во все сферы деятельности и быт людей. Сотни миллионов человек стали считать совершенно

необходимым наличие компьютера дома и в офисе. Сегодня персональные компьютеры заменяют человека по многим направлениям его интеллектуальной деятельности. Из года в год значительно улучшаются характеристики вычислительных машин.

Повышение вычислительных возможностей ЭВМ происходит благодаря созданию новых технологий изготовления элементов, разработке структурных схем с высокой производительностью и совершенствованию программного обеспечения.

На рис. 3.6 и 3.7 представлены основные характеристики, отражающие развитие цифровых вычислительных машин общего назначения за последние несколько десятков лет. Приведены следующие данные: номинальное быстродействие (оп./с), объем оперативной памяти (байт), плотность записи информации во внешних запоминающих устройствах (бит/см²), максимальный объем памяти внешних запоминающих устройств (байт). Выделенные на рис. 3.6 области размечены цифрами: 1 — персональные компьютеры; 2 — малые вычислительные машины; 3 — большие; 4 — сверхбольшие (суперЭВМ).

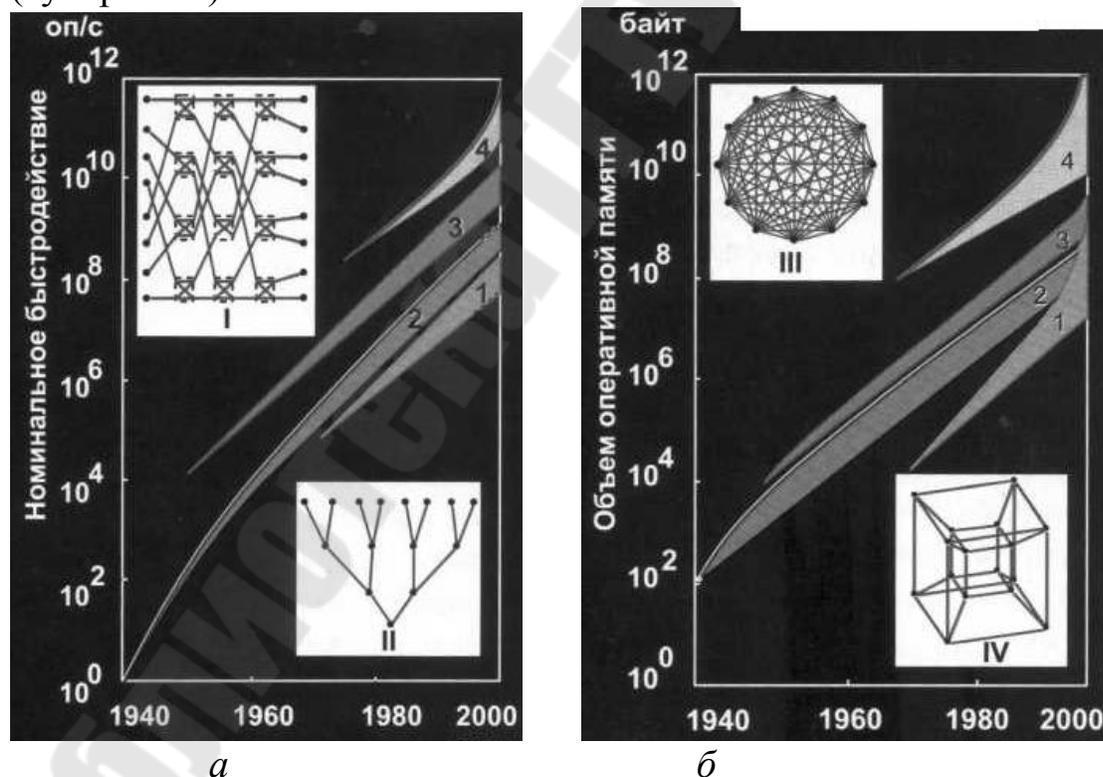


Рис. 3.6. Основные характеристики цифровых вычислительных машин с различными базовыми элементами: а — номинальное быстродействие (оп./с); б — объем оперативной памяти (байт)

На рис. 3.7 представлены зависимости, характеризующие тенденции совершенствования внешних запоминающих устройств: сплошная — по плотности записи памяти (бит/см²), штрихпунктирная — для максимальных объемов памяти (байт). Приведенные рисунки показывают, что технический прогресс к 2000 г. достиг такого уровня, о котором еще пятнадцать лет тому назад не могли мечтать даже создатели вычислительной техники.

Быстродействующие параллельные вычислительные машины имеют различные схемы соединения процессоров с блоками памяти. На рис. 3.6 цифрой I отмечена схема, в которой процессоры, выделенные кружками слева, связываются с блоками памяти, обозначенными кружками справа, через коммутирующие устройства (штриховые прямоугольники). Коммутирующие устройства имеют по две входные и две выходные линии связи. Тогда каждый из процессоров может напрямую связываться с блоками памяти таким образом, что даже при большом количестве процессоров и средств памяти число линий связи невелико.

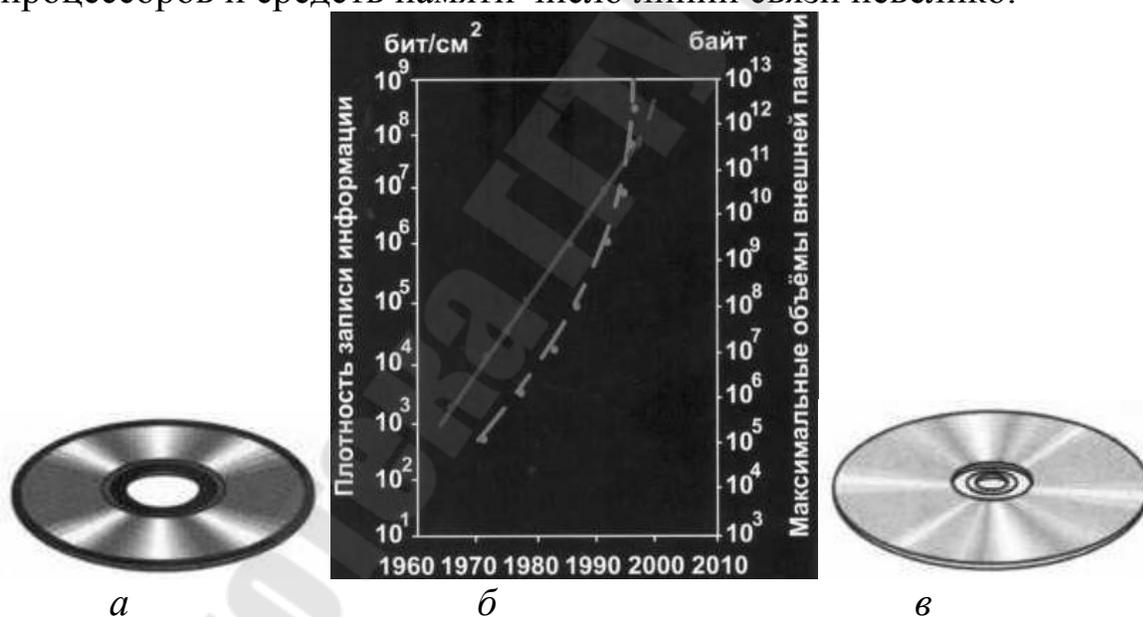


Рис. 3.7. Тенденции развития внешних запоминающих устройств на магнитных, лазерных и цифровых функциональных дисках

Наибольшее распространение получили структурные схемы систем с одним потоком команд и множеством потоков данных. В таких схемах все процессоры имеют собственные объемы памяти. Впервые к

разработке подобной суперЭВМ приступил американский ученый Дэниэл Хиллис.

Для повышения номинального быстродействия коммутационных машин необходимо создавать новые коммутаторы с большими скоростями переключения. К концу 2000 г. размеры микрокристаллических переключателей подошли к пределу физических возможностей. Тогда стали разрабатывать новые типы переключателей с тонкими слоями молекул, способными изменять свои состояния при различных воздействиях.

Так, *например*, в Сиракузском университете в качестве переключателя применен бактериодоксин. Импульс, посылаемый лазером, приводит к тому, что этот белок переходит в другое состояние.

Японские специалисты-химики применили органические соединения, способные при тепловом воздействии переходить из одного состояния в другое. В результате возникло новое научное направление — молекулярная электроника.

Сторонники молекулярной электроники считают, что замена микрокристаллических переключателей на органические, работающие на молекулярном уровне, повысит плотность записи информации до 10^{18} бит/см³.

Сравним эти данные с возможностями человеческого мозга, где в объеме 750 см³ можно записать информацию, эквивалентную 10^{12} бит. При создании молекулярных переключателей встретились значительные трудности, связанные с необходимостью соединять молекулы электрическими полимерными проводниками и с обеспечением стабильности их срабатывания. Их удалось преодолеть путем использования переключателей, в которых молекулярный поверхностный слой жидкости наносился на подложку и подсоединялся к тонким пленкам в виде отдельных пучков.

Более прогрессивный способ изготовления молекулярных элементов предложил американский ученый К. Ульмир. На основе современных методов генной инженерии он нашел процедуры упорядочивания перестройки белковых структур, подобных генным и обладающих электрическими свойствами. При использовании таких генных элементов можно достичь в будущих поколениях ЭВМ сверхогромных быстродействий, которые позволят открыть неведомые

ранее направления в науке. Ведь в одном кубическом сантиметре вещества, состоящего из генов, имеется 10^{21} бит информации.

Для практической реализации подобных элементов и применения их в сверхмощных суперЭВМ потребуется несколько десятилетий труда опытных специалистов в областях биологии, электроники и вычислительной техники.

Интересные идеи по разработке сверхминиатюрных вычислительных машин (нанокomпьютеров) высказал талантливый американский ученый К. Эрик Дрекслер.

Он предложил изготовить из молекулярных элементов первую программируемую наномашину, которая сможет воспроизводить себе подобные. Тогда, по его мнению, за несколько дней из одной машины удастся получить миллиарды нанокomпьютеров размером в десятые доли нанометра, на основе которых могут изготавливаться нанороботы.

Такие роботы, помещенные в кровеносные сосуды человека, смогут заглатывать вредные бактерии, вирусы и клетки старения, после чего они подвергаются химическому разложению. Таким образом можно продлить жизнь человека. Однако Дрекслер высказал опасение, что поглощающие нанороботы при неумелом обращении смогут «превратить в пыль биосферу Земли».

Другой оригинальный способ создания новых типов суперЭВМ, предложенный японским ученым Тосио Симада, основан на управлении потоками данных в виде обратной цепной реакции.

Структурная схема такой суперЭВМ изображена на рис. 3.6 *a* позиция II.

Рассматриваются и некоторые другие, более сложные структурные схемы вычислительных машин.

Большое значение в параллельных ЭВМ подобного рода имеют схемы включения распределенной памяти. Многие из них основаны на том, что все процессоры имеют непосредственный доступ к любому из блоков памяти при помощи либо сети, либо устройства в виде шинной памяти (информационного канала), по которому процессоры запрашивают нужные данные, а блок памяти передает их процессорам.

Так как некоторые процессоры могут изменять данные, хранящиеся в памяти, нужно, чтобы ни один процессор не обратился к блоку памяти прежде, чем туда будут записаны требуемые значения.

Реализация подобных действий обеспечивается с помощью программ. Существуют и аппаратные средства, не допускающие попыток получить доступ к блоку с хранимыми в нем данными.

На рис. 3.6 б позиция III, показана одна из таких схем, в которой производится соединение всех блоков памяти вместе с процессорами между собой. Как видно на рисунке, для ее построения требуется большое число линий связи. Если таким образом реализовать прямую связь между любыми двумя из 65 536 процессоров (как в суперЭВМ Хиллиса), то потребовалось бы более двух миллиардов проводников, что практически неосуществимо.

Для более выгодных решений стали применять схемы соединения в виде n -мерных кубов или гиперкубов, когда ячейки с процессорами располагаются в вершинах. Одно из наиболее ценных свойств n -мерного куба заключается в том, что между любой парой процессоров существует много линий связи. Когда один из путей занят, то коммутирующее устройство может изменить порядок передачи данных.

На рис. 3.6 б позиция IV, показана схема четырехмерного гиперкуба, имеющая малое число линий связи.

ЭВМ, построенные по структурным параллельным схемам, позволяют программистам находить различные подходы при выполнении отдельных процедур с помощью взаимного обмена данными. Наиболее часто применяются следующие способы: с помощью компиляторов, автоматически переводящих последовательные программы в параллельные; путем генерации сообщений и передачи их рассылочной программой, а также на основе ряда специальных правил для параллельного программирования.

Программы для коммутационной машины составлены таким образом, что данные, распределенные между процессорами, обрабатываются параллельно. Все процессоры работают в синхронном режиме, а все их действия координируются центральным процессором.

Существует и другой подход написания программ, когда проблемы координации решаются независимыми процессорами, временно обрабатывающими отдельные порции данных, и исключается возможность другим процессорам воздействовать в это же время на эти данные.

Рассмотрим некоторые общие тенденции развития внешних запоминающих устройств в виде магнитных дисков. Создание таких дисков на-

чалось в Долине Санта-Клара в штате Калифорния, где располагаются самые крупные фирмы электронной промышленности. Эту долину в честь кремния назвали «Силиконовой долиной». Все открытия в области вычислительной техники, полученные в «Силиконовой долине», всегда приносили фирмам баснословные прибыли.

Полупроводниковые устройства для хранения больших объемов данных, которым отдавалось предпочтение в течение многих лет, стали заменяться жесткими и гибкими дисками. Такие диски обладают огромными возможностями по плотности записи информации на площади в один квадратный сантиметр и по скорости ее считывания.

Основные преимущества дисковой памяти заключаются в легкости ее замены, без уничтожения ранее записанных данных, и в длительности хранения. Поражает простота конструкции жестких дисков, представляющих собой гладкие пластины, покрытые тонким слоем магнитного материала из окиси железа. Первыми считывающими устройствами были магнитные головки, которые заменили лазерными, а затем цифровыми функциональными.

На рис. 3.7 б приведены кривые, отражающие тенденции развития внешних запоминающих устройств с 1960 по 2010 г. Красная сплошная линия соответствует плотности записи информации в битах на один квадратный сантиметр, а желтая штрихпунктирная — максимальным объемам памяти в байтах. На рисунке видно, что за последние годы указанные характеристики стали значительно возрастать. Здесь же на рис. 3.7 а изображен диск, информация с которого считывается магнитными головками, а на рис. 3.7 в — диск, с которого она считывается лазерными устройствами.

Одновременно с изготовлением ЭВМ математики и инженеры стали составлять программы, управляющие процессами решения задач. Возможность выбора различных вариантов решений усложняла создание программного обеспечения. Его разработка продвигалась гораздо медленнее, чем выпуск новых типов быстродействующих ЭВМ.

С целью совершенствования программирования системные программисты начали создавать алгоритмические языки высокого и низкого уровней. Для того чтобы приблизить программы к аппаратным средствам ЭВМ, следует использовать низкий уровень.

Оба эти подхода позволили упростить работу программистов, дав им возможность сосредоточить свои усилия на расширении логических связей между отдельными участками программ.

Высокий уровень автоматизации современного производства был достигнут за счет применения большого числа различных типов роботов и глобальных вычислительных сетей, состоящих из нескольких больших ЭВМ или суперЭВМ, сотен рабочих станций и персональных компьютеров, работающих в коллективных режимах.

Развитие производства требовало замены существующих роботов и вычислительных машин более совершенными. За последние двадцать лет производительность вычислительных машин намного повысилась и продолжает непрерывно расти.

Тенденции изменения основных характеристик вычислительных машин иллюстрируются рис. 3.8. На рис. 3.8 *а* показан рост номинального быстродействия (оп./с) в зависимости от года выпуска. Цифрами обозначены основные элементы арифметических устройств: 1 — механический элемент, 2 — реле, 3 — электронная лампа, 4 — транзистор, 5 — БИС, 6 — СБИС.

На рис. 3.8 *б* продемонстрировано изменение объемов оперативной памяти в байтах для различных устройств: 7 — механического элемента, 8 — реле, 9 — ультразвуковой линии задержки, 10 — ферритовых колец, 11 — БИС, 12 — СБИС.

Очевидно, что в конце XX столетия сделан огромный скачок в росте быстродействия и объема оперативной памяти.

Создание управляющих микроЭВМ, рабочих станций и персональных компьютеров на интегральных схемах стало возможным только с помощью супер ЭВМ, которая выполняет чертежи отдельных устройств машин для переноса их на кристаллы. В этом случае быстро перестраиваются структуры вычислительных машин, которые выпускаются миллионами экземпляров. При этом каждая последующая серия ЭВМ обладает более высокой производительностью, что обеспечивается применением новых материалов и технологий.

На развитие вычислительной техники и программирования значительное влияние оказали специализированные ЭВМ с большими логическими возможностями для игры в шахматы. Программисты считали, что разработанная программа, способная выигрывать в шахматы у гроссмейстеров, служит доказательством освоения машиной

человеческого мышления. О сложности шахматной игры можно судить по тому, что существует 10^{120} различных комбинаций, определяющих ходы игроков. В связи с этим гроссмейстеры нашего времени считали невозможным создание шахматной ЭВМ, способной начать и выиграть игру.

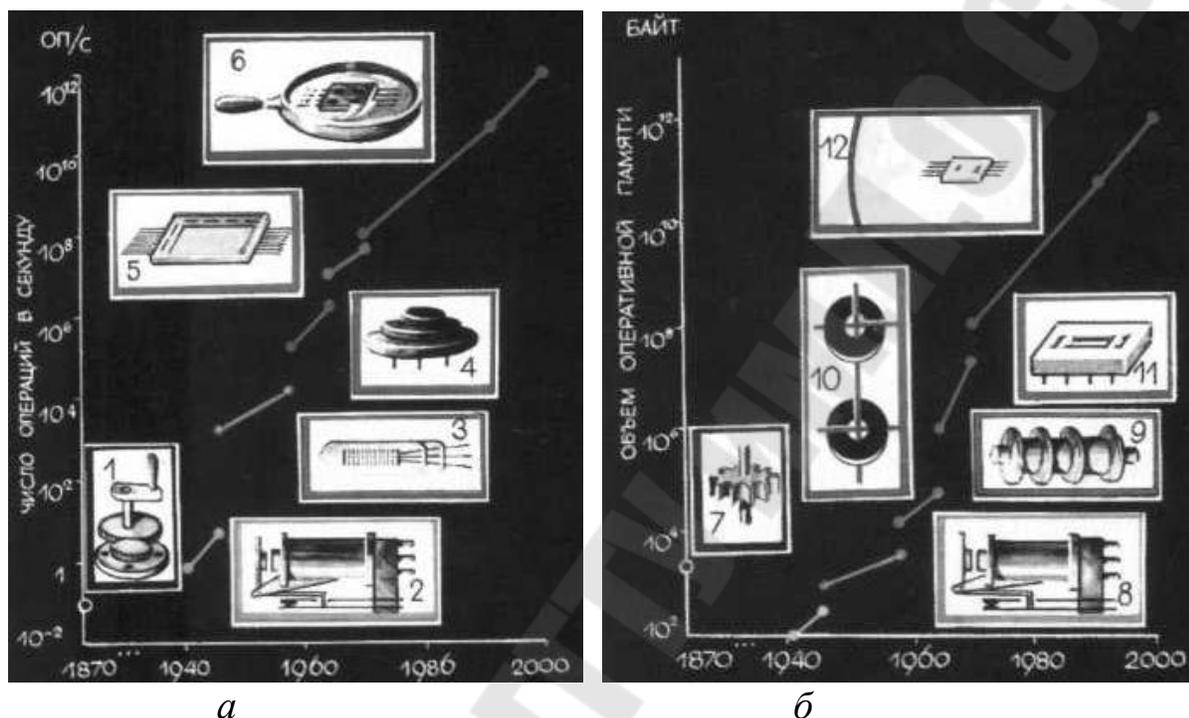


Рис. 3.8. Тенденции развития цифровых вычислительных машин общего назначения: а— номинальное быстродействие (оп./с); б— объем оперативной памяти (байт)

Таким образом, были определены коэффициенты оптимальных весов, обеспечивающих наилучшее соответствие между ходами машины и шахматных мастеров. Программисты сначала считали, что путем определения численных оценок каждой из позиций, просматриваемой на много ходов вперед, удастся находить самые лучшие комбинации.

Переход же к выборочным ситуациям не мог гарантировать обязательный выигрыш. Поэтому стали рассматривать способы усовершенствования обратных связей в процедурах автоматической подстройки функций качества для оценок позиций.

В результате вычислительная машина «Глубокая мысль» начала выигрывать у известных гроссмейстеров. Авторы еще несколько лет совершенствовали свои программы. К этому времени фирмой ИБМ была

изготовлена шахматная машина «Голубой гигант», которая могла просматривать уже свыше одного миллиарда операций в секунду. Гарри Каспаров признавал, что ЭВМ, «способная анализировать миллиард операций в секунду, может побеждать гроссмейстеров среднего уровня, но не меня». При этом он ссылаясь на огромные возможности своего творческого воображения, которое вряд ли когда-нибудь сможет превзойти машина. Однако в шахматном поединке с этой машиной в 1995 г. Каспаров был вынужден признать себя побежденным, что стало для него большой неожиданностью. В 1997 г. он предложил провести шахматный матч с «Голубым гигантом» из шести партий. Машина выиграла со счетом 3,5:2,5.

Исход шахматного матча вызвал удивление у многих любителей шахмат, считавших, что огромные логические возможности вычислительной машины-гроссмейстера должны всегда приводить ее к выигрышу. Однако одинаковые подходы при оценивании шахматных позиций шахматистом и машиной могли привести к ситуации, когда шахматист находил такой ход, на который машина-гроссмейстер не могла найти лучшего ответа. Тогда шахматная партия между машиной и человеком приводила либо к ничьей, либо к ее проигрышу.

Разработчики машины и программного обеспечения после этой игры заявили: «Мы считаем, что результат поединка между чемпионом мира и компьютером не ответил на вопрос, может ли машина мыслить, а показал, что усилия коллектива людей могут превзойти достижения одной, пусть даже наиболее талантливой личности».

Параллельные программы способствовали развитию многих направлений в науке и технике: расширяли возможности систем автоматизированного проектирования, конструирования, технологической подготовки и управления производством; совершенствовали методы машинного перевода с одного языка на другие; ускоряли решения ряда проблем искусственного интеллекта; обеспечивали построение математических моделей сложных биологических и физических процессов, имеющих большое значение в жизни человечества, и т. д.

Современные ученые считают, что дальнейшее использование параллельных вычислений полностью изменит наше представление о необходимости выполнения многих дорогостоящих натуральных экспериментов. Математическое моделирование намного расширит наше представление о процессах, происходящих на Земле и в космосе.

Наряду с серийным изготовлением больших и средних ЭВМ в конце 80-х годов многие зарубежные фирмы приступили к массовому выпуску персональных вычислительных машин (компьютеров).

Компьютеры используются для обработки и хранения информации при биржевых сделках, для расчета и оплаты налогов, обучения в колледжах и университетах и для решения ряда технических и научных задач. Домашние хозяйки хранят в памяти компьютеров данные с кулинарными рецептами, оценивают возможность приобретения автомобиля, бытовой техники и многих других хозяйственных предметов. Дети получили возможность играть в увлекательные, красочные и озвученные игры. На экране дисплея разворачиваются события, в которых главный герой-пользователь должен принимать правильные решения.

Персональные ЭВМ имеют номинальное быстродействие порядка 1 млрд, оп./с при оперативной памяти в 256 мегабайт и огромных объемах памяти в винчестерах, достигающих до 40 гигабайт, и внешней дисковой памяти в 40 терабайт.

По мере совершенствования персональных машин их стали применять для автоматизации процессов проектирования, конструирования и технологической подготовки производства. Возросла надежность хранения постоянной памяти, чему способствовала защищенность дисков от различных внешних воздействий и температур.

Сотрудник ИТМ и ВТ В. Пентковский, принимавший участие в разработке ЭВМ «Эльбрус-1», в 1986 г. создал 32-разрядный микропроцессор, который успешно прошел все испытания в 1990 г. В связи с отсутствием финансирования и невозможностью вести дальнейшие работы Пентковский покинул Россию и переехал в США, где, работая на фирме «Интел», в 1995 г. выпустил микропроцессор для «Пентиум», близкий по своим характеристикам к микропроцессору 1986 г.

В 1998 г. в ИТМ и ВТ была закончена разработка более совершенного микропроцессора Е2К для ЭВМ «Эльбрус-3».

Сравнение этого микропроцессора с последними разработками фирмы «Интел» показало, что Е2К обладает в 1,5 раза большей тактовой частотой, в 5 раз большей производительностью, в 2,4 раза меньшими размерами кристалла и в 1,7 раз потребляет меньше электроэнергии.

На этом развитие микропроцессоров для персональных компьютеров не закончилось. В 2000 г. были изготовлены опытные партии микропроцессоров с номинальным быстродействием $1,5 \cdot 10^9$ оп./с.

3.5. От локальной сети к глобальной

Самые лучшие персональные компьютеры по своей производительности не могут соперничать с современными суперЭВМ. Поэтому специалисты стали создавать вычислительные сети, в которых к мощным суперЭВМ подключается большое число персональных компьютеров.

ЭВМ в сетях не только общаются между собой, но и «осмысливают» поступающую к ним информацию.

Более 40 лет тому назад сети состояли из малого количества вычислительных машин. В это время уже существовали ЭВМ, работающие в режимах с разделением времени, и пользователи могли независимо друг от друга обращаться к базам данных и различным программам.

В 1968 г. на крупных фирмах США появились локальные сети, предназначенные для управления цехами и заводами. Со всех участков цеха поступала информация о протекании производственных процессов.

В случае каких либо нарушений руководители различных рангов принимали решения о вводе резервного оборудования, подаче недостающих материалов и инструмента, регламентировалась остановка станков на профилактический осмотр и ремонт и т. и. Все это позволяло избежать нарушений в производственном процессе и крупных материальных потерь.

По мере увеличения числа ЭВМ в сети возросли скорости передачи информации в каналах связей. В результате стали наблюдаться длительные задержки, нарушающие нормальную работу. Для их устранения пришлось формировать информацию в виде отдельных пакетов и вводить в сети специальные узлы, обеспечивающие приведение пакетов к единой форме. На пакетах указывали их номера, адреса назначения и наикратчайшие маршруты следования, учитывающие загруженность узлов и повреждения в каналах связей. При обмене короткими порциями пакетов их коммутация позволяла не резервировать каналы за отдельными

пользователями, а в промежутки времени между поступлениями пакетов вводить пакеты других пользователей.

Таким образом, нормально функционирующая сеть обеспечивала возможность всем пользователям непрерывно работать с любыми каналами связей.

Локальные сети начали подключать к территориальным, охватывающим большие пространства. Снова появились задержки в передачах, которые устранялись с увеличением скоростей передачи данных до 50 Мбит/с.

С ростом числа пользователей кабельные каналы связей заменялись на волоконно-оптические, имеющие скорость передачи данных от 10 до 100 Гбит/с.

В волоконно-оптических каналах электронные сигналы преобразовывались в оптические в реальном масштабе времени.

Координация действий между компьютерами в процессе взаимодействия пользователей улучшилась, возникли условия периодического переключения за десятые доли секунды с одной задачи на другие.

Далеко расположенные персональные компьютеры и рабочие станции получили быстрый доступ к большим базам данных.

Одновременно с одного или нескольких предприятий могла передаваться любая текстовая информация, чертежи, графики и другие изображения (неподвижные и подвижные со скоростями до 30 кадров в секунду). Для исключения вредного воздействия мерцаний экранов мониторов на человека с 1995 г. успешно ведутся работы по увеличению частоты передачи кадров.

На рабочих местах стали устанавливать большие настенные экраны размером 1,2*1,8 м и более. Специалисты по вычислительной технике смогли передавать изображения сверхбольших интегральных схем на значительные расстояния по каналам связей сетей филиалам своей фирмы, где сразу же начиналось изготовление плат для персональных компьютеров.

Управление перспективных исследований Министерства обороны США заказало территориальную сеть для связи научно-исследовательских центров страны, выполняющих военные заказы. Компьютеры сети соединили телефонными линиями связей, в которых применялись моде-

мы, превращающие цифровые двоичные сигналы в модулированные звуковые.

С целью уменьшения влияния помех телефонные каналы должны быть маломощными, для чего применяются плоские кабели с 64 проводниками и скоростью передачи данных 1 млрд. бит/с. Наряду с кабельными каналами стали прокладывать и радиотелефонные, работающие через ретрансляторы искусственных спутников Земли. Таким образом, были сделаны первые шаги для создания крупнейших открытых систем типа Интернет.

Министерство обороны США поручило создать сети для противовоздушной, противоракетной и противокосмической обороны, которые должны обладать высокой степенью защищенности от постороннего доступа и эксплуатационной надежностью. Введенные в строй сети с кольцевыми и радиальными каналами по своему виду напоминали гигантские паутины.

Наше изложение о создании сетей было бы далеко не полным, если бы в нем отсутствовали данные по локальным радиальным сетям, называемым обычно «эфирными». В такой сети каждая вычислительная машина подключалась к каналу связи через интерфейс, включающий в себя приемник и передатчик. Для ликвидации отказов вводились механизмы обнаружения столкновений. Опыт эксплуатации подобной сети оказал существенное влияние на разработку более мощных систем.

Д. Кларк из Массачусетского технологического института занялся объединением территориальных сетей в одну глобальную, которая впоследствии развилась в систему Интернет. В 1990 г. эта система включала в себя 500 различных сетей 26 стран и объединяла 300 000 компьютеров, установленных в офисах и домах для обслуживания нескольких миллионов пользователей. А в 1999 г. в сети Интернет участвовали 176 стран, число пользователей увеличилось до одного миллиарда.

С введением Интернет изменилась жизнь человека. Он получил доступ к самой различной информации в любых местах: дома, в офисе, за рулем автомобиля и т. п. Для вхождения в сеть Интернет и поиска нужной информации применяются два основных способа.

Первый способ такой: пользователь посылает запрос поисковому серверу, а его агент (робот) обходит все серверы и доходит до того, в котором содержится запрашиваемая информация. Все поисковые машины пользуются языком запроса, обладающим, кроме логических

операторов, дополнительными возможностями (грамматическими правилами, расширением запрошенного слова своими дополнительными пояснениями, выделяемыми специальным символом, введением ограничений в области поиска). Обычно языки запроса указываются на поисковом сервере, что упрощает процесс работы с системой.

Второй способ состоит в следующем: пользователь обращается к электронному каталогу и находит в нем страницу и интересующие его данные и обращается к серверу системы, где содержится затребованная информация. В этом случае успех работы пользователя зависит от полноты каталога, который все время должен пополняться новыми сведениями. Их отсутствие приводит к тому, что только 10% пользователей находят нужную информацию всегда, а 73% — довольно часто.

Большое число суперЭВМ и огромное количество серверов, входящих в систему Интернет, расположенных во многих странах мира, намного расширили ее возможности. Только в России общее число поисковых серверов к середине 1999 г. достигло 41 000, а «объем проиндексированной информации составил около 95 гигабайт». По самым скромным оценкам, объемы получаемой текстовой информации за год в России возрастают приблизительно в 15 раз. Подключение к сети многих слаборазвитых в экономическом отношении стран приведет к еще большему росту поисковых серверов и увеличению могущества Интернет.

Однако это не означает, что люди должны отказаться от личного общения друг с другом. Всем ясно, что в сложных ситуациях резкий жест рукой более понятен присутствующим, чем длинные высказывания через Интернет. Поэтому стали применяться дисплеи персональных компьютеров, способные видеть и отслеживать жесты и даже мимику пользователя, передающего информацию.

Руководители компаний получили возможность ведения текущих переговоров со своими смежниками, находящимися на разных континентах. Для удобства на работе стали пользоваться электронными досками, с помощью которых можно сразу же вносить любые изменения в изображения. Наряду с этим нашли широкое применение настенные экраны; без них было бы крайне сложно проведение расширенных совещаний.

Увеличение количества вычислительных машин, включенных в сеть, стало возможным только благодаря росту скоростей передачи данных.

Уже сейчас существуют каналы, способные передавать информацию со скоростями, достигающими нескольких триллионов символов в секунду.

Сети могут функционировать без участия людей. Роботы в офисах или дома по заранее составленной для них специальной инструкции будут принимать и выдавать только необходимые выдержки из документов. Никакие трудности, вызванные задержками в получении документов, или возможные ошибки при их получении не вызовут у роботов отрицательных эмоций. Робот систематически без перерывов будет посылать запросы, совершенствуя их, как это указано в инструкции, добиваясь получения результата, нужного хозяину.

Информационная технология на базе системы Интернет поможет предпринимателям в создании более эффективных рынков.

Покупатели могут сделать любые покупки без посещения магазина через сеть, затрачивая на это совсем немного времени. Заказ, принятый роботом-продавцом, будет выполнен и поступит в автомашину, которая привезет его заказчику.

Сеть Интернет оказывает значительное влияние на качество обучения, так как позволяет учащемуся не только запоминать посылаемую информацию, но и самостоятельно проверять интересующие его результаты путем моделирования на компьютере.

Вычислительные машины в сетях, наделенные мышлением, вносят новые качества в работу пользователя. Пользователь может вести «компьютерные эксперименты» со сложными объектами, включая тем самым дорогостоящие, а иногда и невозможные, натурные испытания. На суперЭВМ, входящей в сеть, исследуются столкновения астероидов с Землей, которые могут привести к экологическим катастрофам; изучаются процессы столкновения галактик, состоящих из сотен миллиардов звезд; моделируются гравитационные поля созвездий с черными дырами.

Появляется возможность полной расшифровки генетического кода человека, что обеспечит успешную борьбу со страшными заболеваниями, известными в медицине в настоящее время и появление которых возможно в будущем.

Многие из грандиозных начинаний человечества, к которым можно отнести и систему Интернет, сопровождались нашумевшими происшествиями, влияющими на мнение людей. При внедрении этой глобальной информационной системы появились различные формы злонамеренного

поведения некоторых пользователей, вызывавшие тревогу у администрации сети. Это — преднамеренные остановки работы сети, ввод искаженных сообщений, недопустимые сокращения в текстах и нарушение общепризнанных прав поведения людей.

Система Интернет получает большие государственные капиталовложения от правительства США и становится могущественным центром формирования всеобъемлющей информации. Ежемесячные объемы ее передач увеличиваются на 15%. Ежедневно несколько тысяч людей во всем мире становятся пользователями системы.

3.6. Устройство роботов

Классификация роботов.

По подвижности базового узла: стационарные, квазистационарные, мобильные.

Стационарные подразделяются на: напольные, встроенные и специальные.

Квазистационарные подразделяются на: рельсовые, порталные и специальные.

Мобильные роботы подразделяются по перемещению в среде на: наземные, подземные, воздушные, надводные, подводные.

Наземные роботы подразделяются на: шаровые, шагающие, колесные, гусеничные, ползающие и специальные.

Подземные роботы подразделяются на: вибрационные, щитовые, винтовые и специальные.

Воздушные роботы подразделяются на: аэростатические (аэростаты, аэропланы), аэродинамические (реактивные, винтокрылые, винтовые) и специальные.

Надводные роботы подразделяются на: гидростатические, гидродинамические и специальные.

Подводные роботы подразделяются на: гидродвигательные, винтовые, винтокрылые и специальные.

Обобщенная схема робота представлена на рисунке 3.9.

Система связи робота выполняет функции обмена информацией между человеком и робототехническим устройством в целях выдачи роботу заданий, контроля его действий, диагностики и т. п. Для этого используются не только механические устройства информации,

смонтированные на пульте управления (клавиши, кнопки, переключатели), но и устройства для речевого управления (микрофоны). Вывод информации от робота к человеку в виде звуковых и световых сигналов осуществляется с помощью дисплеев.

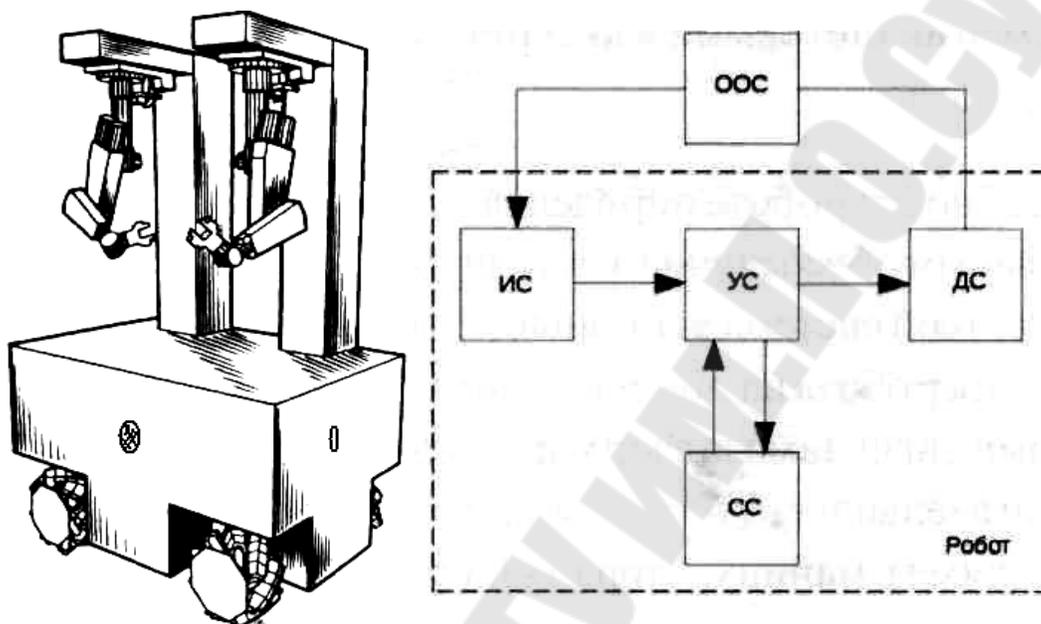


Рис. 3.9. Общий вид (а) и обобщенная схема робота (б): ИС — информационная система; УС—управляющая система; ДС — двигательная система; СС — система связи; ООС — объект окружающей среды.

Информационная система выполняет функции искусственных органов чувств (сенсоров) робота и предназначена для восприятия и преобразования информации о состоянии объектов внешней среды и самого робота в соответствии с алгоритмом управляющей системы.

В качестве сенсоров информационной системы робота наибольшее распространение получили акустические датчики, лазерные и ультразвуковые дальномеры, тактильные, контактные и индукционные датчики, датчики положения, скорости, сил и моментов, опико-электронные устройства и др.

Управляющая (интеллектуальная) система предназначена для формирования законов (алгоритмов) управления приводами и исполнительными механизмами двигательной системы в соответствии с заданием. Управляющая (интеллектуальная) система предназначена для формирования законов (алгоритмов) управления приводами и

исполнительными механизмами двигательной системы в соответствии с сигналами обратной связи информационной системы.

Управляющая система обычно состоит из микроЭВМ или микропроцессора в комплекте с набором входных (аналого-цифровых) и выходных (цифро-аналоговых) преобразователей и интерфейсных каналов связи, по которым осуществляется обмен аналоговыми и дискретными сигналами между роботом и внешней средой.

Интеллектуальные способности робота определяются алгоритмическим и программным обеспечением его управляющей системы.

Двигательная (моторная) система выполняет функции целенаправленного воздействия робота на объекты окружающей среды в соответствии с управляющими сигналами информационно-управляющей системы. Конструктивно двигательная система может быть представлена разными приводами (двигателями), манипуляторами (механические руки и другие элементы).

Для перемещения не ориентированных в пространстве предметов достаточно трех степеней свободы, а для полной пространственной ориентации - шести. Обычно три степени подвижности обеспечивает базовый механизм робота, а еще две степени добавляет механическое устройство - кисть робота, на которой крепится рабочий инструмент (рис. 3.10).

3.6.1. Кинематика манипуляторов

Исполнительным устройством робота является манипулятор, снабженный на свободном конце захватным устройством или каким-либо инструментом. Звенья манипулятора соединяются друг с другом с помощью кинематических пар вращательных и поступательных. Каждая кинематическая пара получает движение от управляемого привода.

При этом реализуется универсальный манипулятор, способный производить любые перемещения внутри своей рабочей зоны.

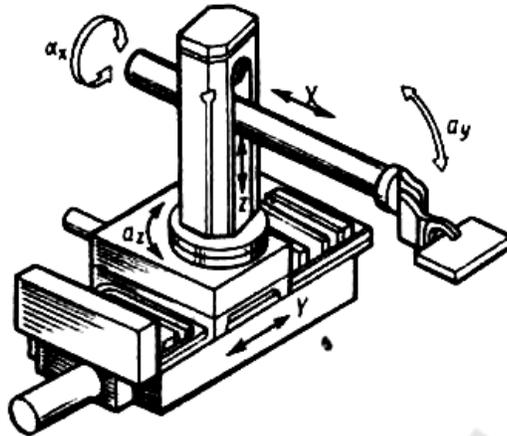


Рис. 3.10. Иллюстрация шести степеней подвижности робота

Рассмотрим схему робота, действующего в прямоугольной системе координат (рис. 3.11). В этом случае манипулятор может поступательно перемещаться вдоль трех осей координат с зоной обслуживания в виде прямоугольного параллелепипеда. Роботы с этой структурой обычно используются на погрузочно-разгрузочных работах и при обслуживании механообрабатывающих станков и прессового оборудования (рис.3.11 б).

Схват робота захватывает двумя пальцами тонкий лист и кладет его на станину прессы между пуансоном и матрицей. Затем пуансон вырубает деталь. Она выбрасывается вверх, и схват кладет ее в контейнер.

Робот может действовать в цилиндрической системе координат (рис.3.12 а). Он имеет горизонтально расположенный манипулятор, способный выдвигаться или втягиваться, а также перемещаться вверх и вниз вдоль стойки. Основание стойки может совершать вращательное движение вокруг собственной оси.

Принятая схема перемещений манипулятора имеет зону обслуживания в виде цилиндрического кольца. На рис. 3.12 б показано действие схвата на заключительном этапе сборки электрических приборов. Крышки и приборы расставляются на столе в рабочей зоне. Схват забирает крышку, поднимает ее верх и надевает на прибор. Затем манипулятор поднимает готовый прибор и ставит его в контейнер.

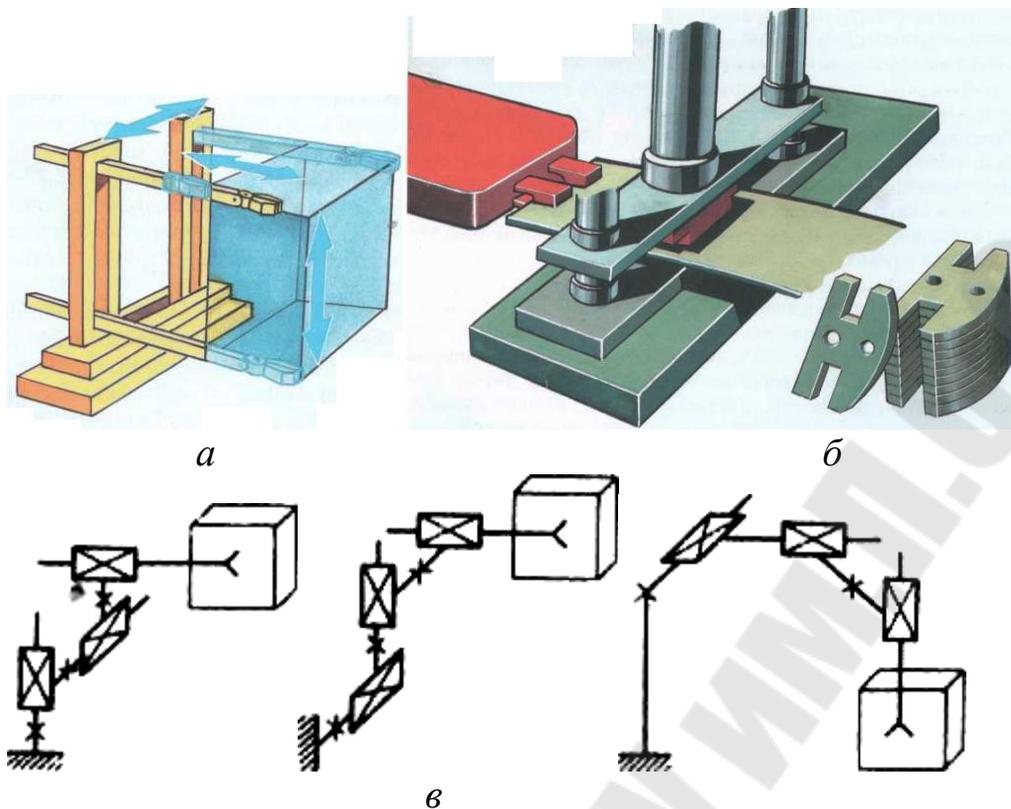


Рис. 3.11. Компоновочная схема робота и зоны обслуживания в прямоугольной системе координат

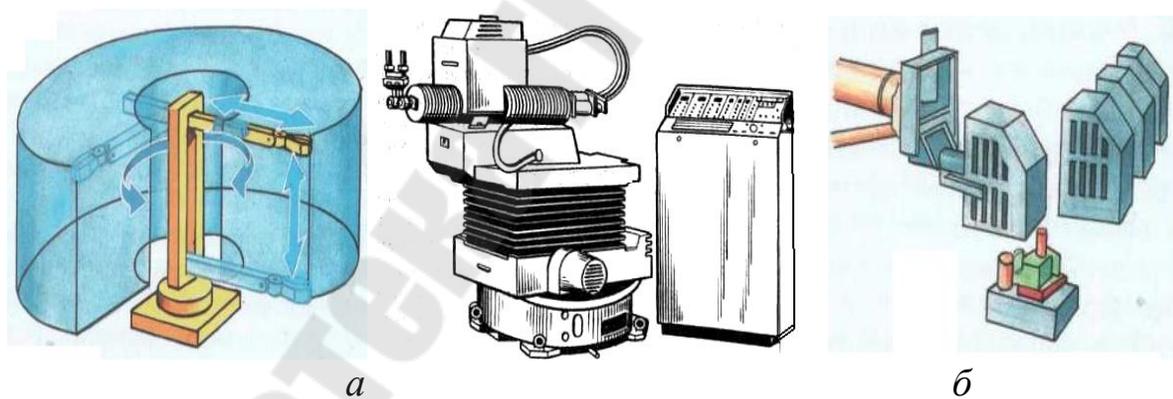


Рис. 3.12. Компоновочная схема робота и зоны обслуживания в циклической системе координат

Робот может иметь манипулятор, перемещающийся в полярной системе координат (рис. 3.13 *a*). Манипулятор наряду с поступательным перемещением проворачивается в вертикальной плоскости относительно плечевого сустава. Одновременно стойка робота вращается вокруг своей

оси. Зона обслуживания — усеченная сфера. Этот манипулятор поднимает и перемещает материалы, детали и изделия путем поворота плечевого сустава.

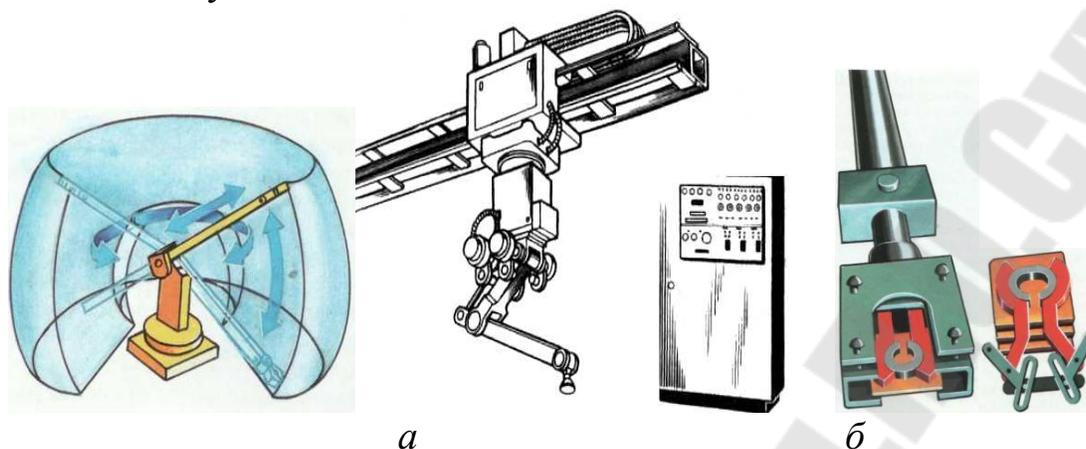


Рис. 3.13. Компонировочная схема робота и зоны обслуживания в полярной системе координат

Такая кинематика при выполнении технологических операций требует малых энергетических затрат. На рис. 3.13 б показана процедура снятия детали с фрезерного станка после ее изготовления. Схват зажимает заготовку и кладет ее на стол фрезерного станка. После обработки манипулятор перемещает деталь в накопитель.

Компоновка робота, функционирующего в сферической системе координат, показана на рис. 3.14 а. Манипулятор действует аналогично руке человека, поскольку состоит из плечевого и локтевого звеньев. На конце локтевого звена расположен запястный шарнир. Зона действия этого робота значительно больше, чем у роботов, рассмотренных ранее. Его достоинством является способность звеньев совершать обход препятствий.

Схема управления достаточно сложна, так как для исключения смещения схвата при движении локтевого звена необходимо проворачивать плечевой сустав.

На рис. 3.14 б показан запястный шарнир, функционирующий в своей системе координат. Зона обслуживания шарнира — сферическая, поэтому манипулятор обладает большими возможностями, чем рука человека. Кисть робота может поворачиваться на 360° , а рука человека — на 180° . Схват робота прикрепляется к запястью. На рисунке показана операция дуговой сварки велосипедной рамы.

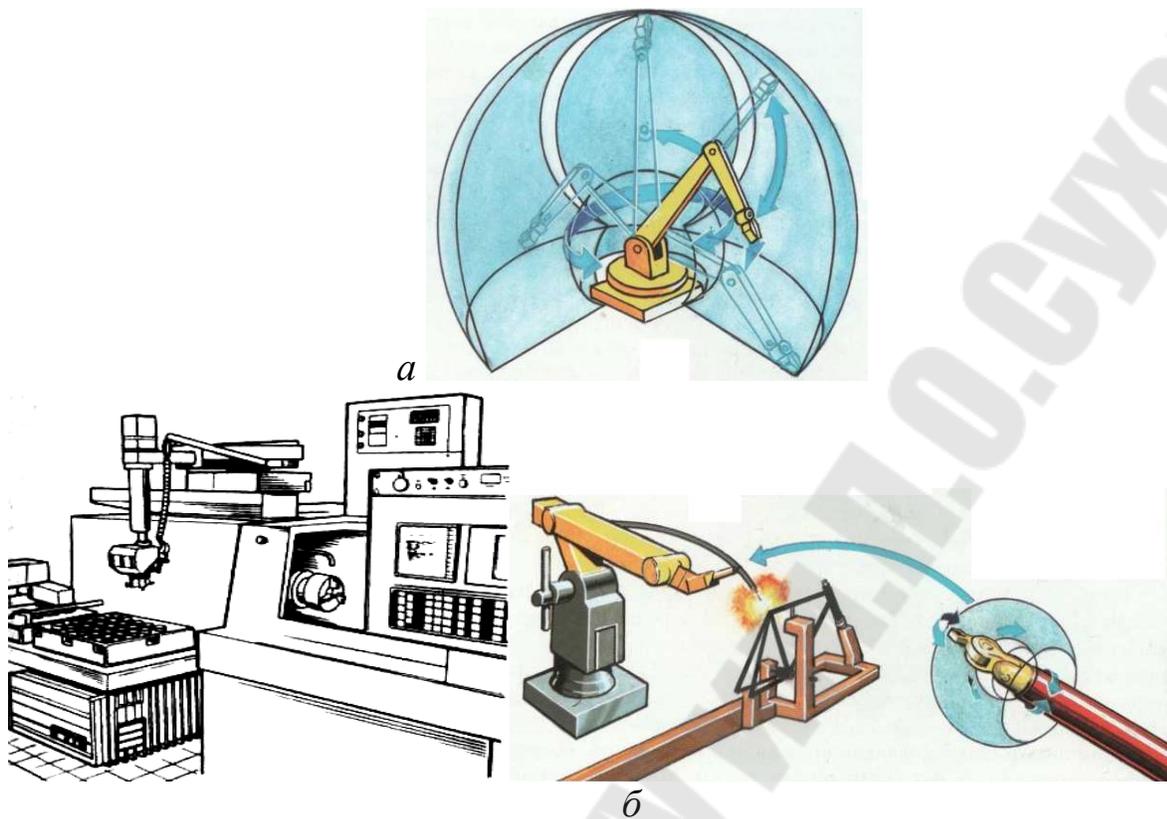


Рис. 3.14. Компонировочная схема робота и зоны обслуживания в сферической системе координат

В настоящее время в промышленных роботах могут применяться и более сложные способы организации движения манипуляторов. Японский ученый Хироси Макино предложил компоновку, в которой все сочленения звеньев размещаются в горизонтальной плоскости. На рис. 3.15 *а* показано, как робот Макино совершает вращение вокруг вертикальной стойки и складывается в штору. Зона обслуживания здесь имеет форму цилиндра. Роботы этого типа отличаются высоким быстродействием и точностью выполнения движений. На рис. 3.15 *б* показан монтаж электронных схем.

Для выполнения внутренних работ применяются схемы роботов с неподвижной вертикальной стойкой и гибким манипулятором, состоящим из двух секций. Каждая из секций имеет независимую систему управления. На рис. 3.16 *а* изображена зона действия.

Следует отметить, что гибкий манипулятор состоит из большого количества чечевицеобразных стальных дисков, соединенных между собой двумя парами тросов.

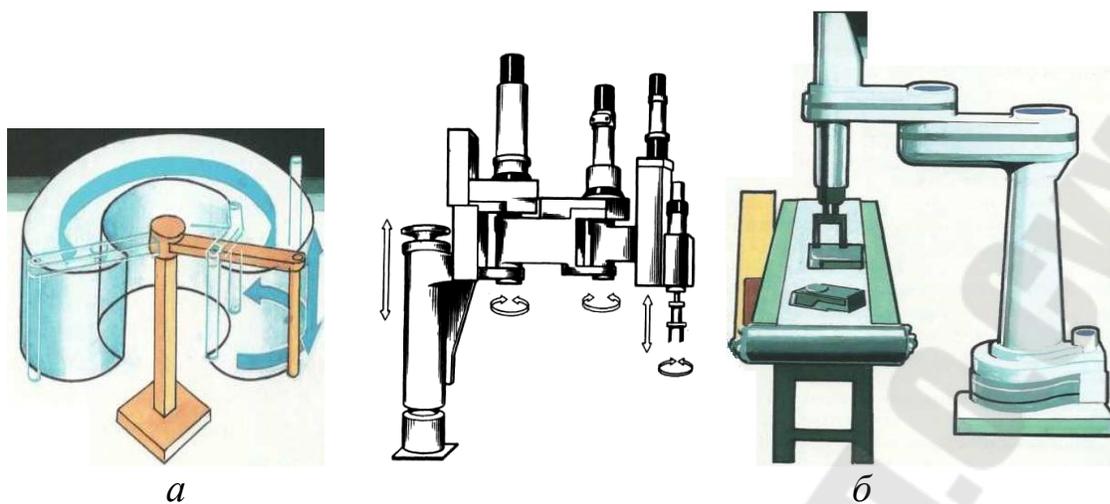


Рис. 3.15. Компоновочная схема робота и зоны обслуживания с размещением сочленений звеньев в горизонтальной плоскости

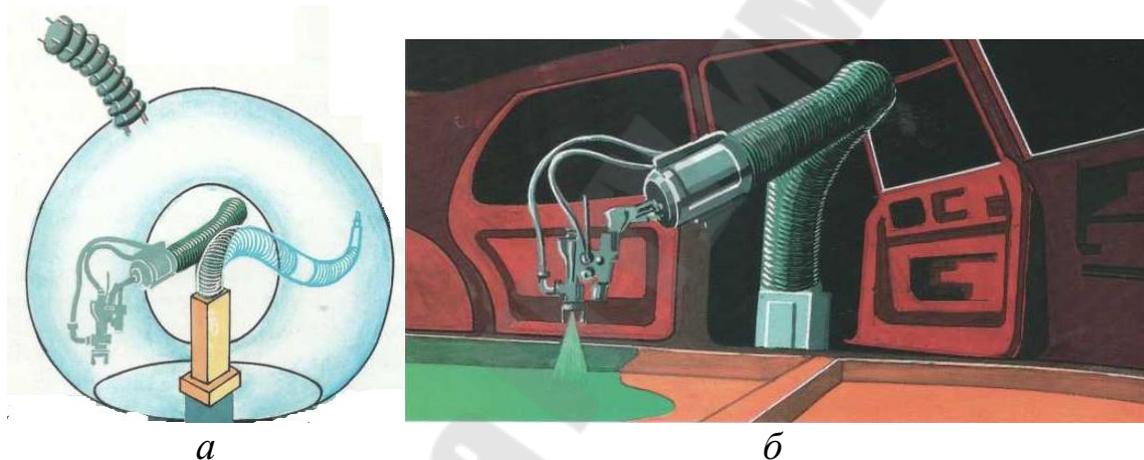


Рис. 3.16. Компоновочная схема робота и зоны обслуживания с гибким манипулятором

Нижние концы тросов подсоединены к силовым поршневым гидравлическим двигателям. К верхним концам прикреплен рабочий инструмент. При различных натяжениях тросов образуется пространственный изгиб манипулятора. На рис. 3.16 б показано положение краскопульта при окраске внутренних частей кузова автомобиля.

Для сокращения сроков проектирования роботов используются модульные системы (рис.3.17).

При реализации этой системы роботы komponуются из отдельных независимых узлов (модулей).

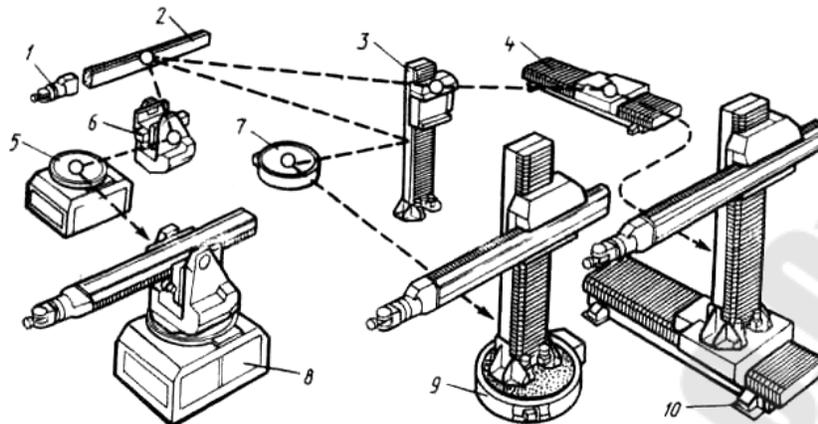


Рис. 3.17. Модульная конструкция робота (стрелками указано, из каких модулей собирается каждый из роботов 8, 9, 10) :

1 - модуль кисти с тремя вращательными степенями подвижности; 2 - поступательный модуль предплечья; 3 - вертикальный модуль; 4 - поступательный базовый модуль; 5 - базовый модуль вращательного движения со станцией гидропитания; 6 - модуль качания; 7 - базовый модуль вращательного движения; 8 - робот со сферической системой координат; 9 - робот, работающий в цилиндрической системе координат; 10 - робот, работающий в прямоугольной системе координат

3.6.2. Приводы движений роботов.

Звенья манипуляторов и устройства схватов приводятся в движение от приводов следующих типов: электрического, электромеханического, пневматического, пневмомеханического, гидравлического и гидромеханического.

Электрические приводы в большинстве случаев представляют собой двигатели с выходными валами, вращающимися с различными угловыми скоростями. Для получения требуемых скоростей движения манипуляторов между валами двигателей и звеньями устанавливаются редукторы с большими числами передаточных отношений, что приводит к возрастанию массы привода. *Возникающий момент на валу определяется значением силы тока, а скорость вращения регулируется изменением напряжения питания якоря* (рис.3.17). Транзисторы или тиристоры изменяют напряжение и полярность. При мощностях двигателей до 10 кВт применяются транзисторные усилители, а при больших мощностях — тиристорные.

Преимущество электрических приводов состоит в том, что источники питания и двигатели соединяются проводами. Недостатком является *малая величина отношения мощности двигателя к его массе.*

В роботах с облегченными манипуляторами применять электрические двигатели нецелесообразно. Поэтому предпочтение отдается пневматическим двигателям.

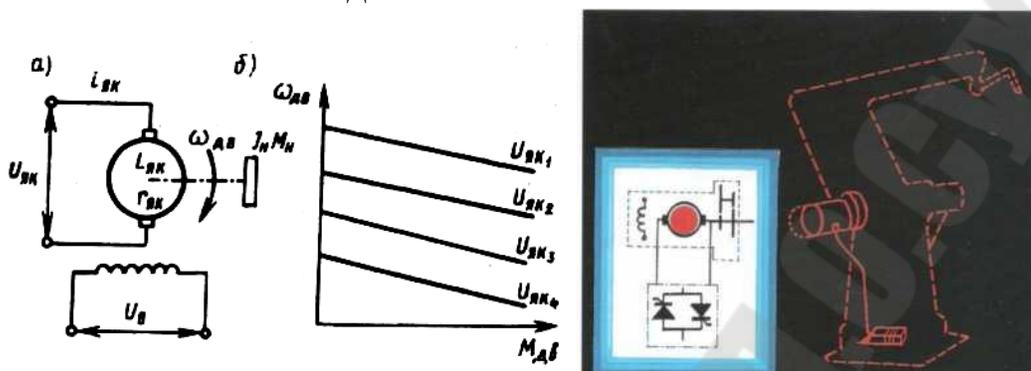


Рис. 3.18. Схема и характеристика электродвигателя с управлением по напряжению якоря

Рассмотрим особенности использования *пневматических и гидравлических приводов* в промышленных роботах. Приводы имеют два типа конструкций: первый — в виде цилиндров, обеспечивающих поступательное движение штока поршня, второй — аксиальный, выходные валы которого совершают вращательное движение.

Исполнительные пневмодвигатели в данном случае — это цилиндры с прямолинейным движением поршня. Для каждой степени подвижности робота пневмодвигатели реализуют соответствующие перемещения, скорости и ускорения. Для захватного устройства также используется пневмодвигатель. Подача воздуха в рабочую полость цилиндра идет через один распределитель, а выход воздуха из нерабочей полости — через другой. Скорость движения пневмодвигателя может регулироваться путем изменения расхода воздуха на входе и выходе с помощью пневматического дросселя с изменяемым проходным сечением. Для наглядности в упрощенном виде поршневой пневмодвигатель изображен отдельно на рис. 3.19.

Пневмодвигатель дает большую скорость движения выходному звену манипулятора. При цикловом управлении оно движется от упора до упора с максимальной скоростью. Для исключения резкого удара в конце предусматриваются средства торможения. Это достигается либо за счет внутренних процессов (сжатого воздуха), либо установкой внешних демпферов различных конструкций. Крайние положения выходного

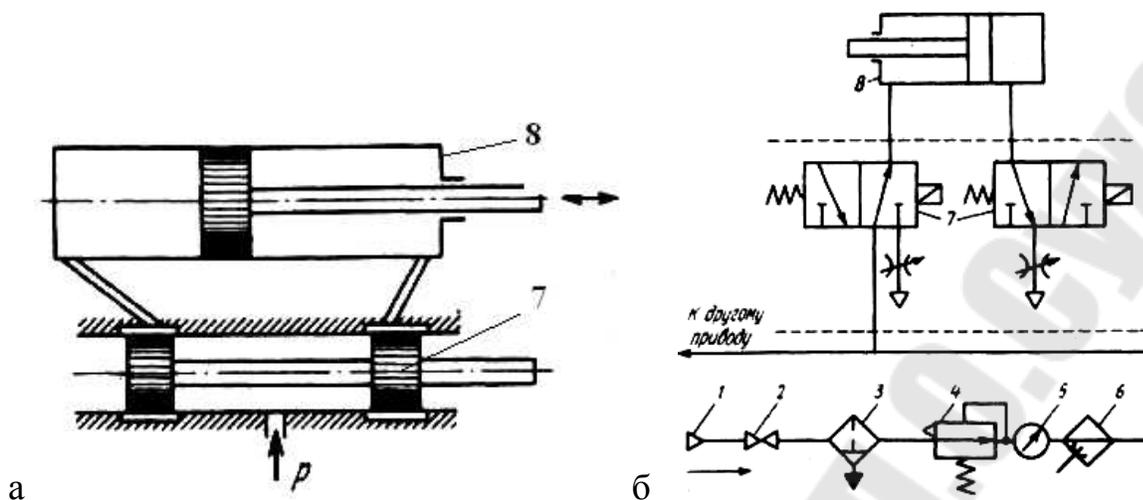


Рис. 3.19. Принципиальная (а) и пневматическая (б) схемы поршневого пневмодвигателя:

1 – пневмосеть; 2 – дроссель; 3 – фильтр; 4 – предохранительный клапан; 5 манометр; 6 – фильтр; 7 – распределитель с электромагнитом; 8 – пневмодвигатель

звена манипулятора при цикловом управлении могут устанавливаться путем перестановки упоров на позиции, необходимые для выполнения заданного технологического процесса.

Значения усилий или движущихся моментов в таких двигателях определяются величинами давления сжатого воздуха или рабочей жидкости. Для регулирования скорости движения поршней используются клапаны с поступательными или поворотными золотниками, управляемыми от маломощных электрических двигателей (реле и соленоидов). Двигатели подсоединяются к электронным усилителям. Выходные валы через редукторы или рычаги перемещают звенья манипуляторов. В *пневматических приводах*, работающих *под высоким давлением*, от сжатия воздуха возможно *появление колебаний звеньев*. Из-за этого может снижаться точность выполнения операций. При попадании пыли в клапаны сокращаются сроки безаварийной работы.

Гидравлические приводы создают значительные усилия или движущиеся моменты. Это преимущество является определяющим, если приводы с манипуляторами предназначены для обслуживания таких процессов, которые требуют большой грузоподъемности. Их эксплуатация затруднена из-за малой надежности пневмо- и гидротрубопроводов.

Электрогидравлические приводы роботов применяются в основном двух классов: дроссельного управления и объемного управления, причем дроссельное управление различается на управление с гидронасосом постоянной подачи и переменной подачи. Во всех случаях может происходить управление либо гидроцилиндром, либо гидромотором.

Гидронасос постоянной подачи значительно дешевле, чем переменной, однако энергетические характеристики привода дроссельного управления с гидронасосом постоянной подачи хуже из-за больших непроизводительных потерь именно вследствие постоянного нагнетания насосом жидкости высокого давления даже при уменьшениях нужды потребителей (гидроприводов) в ней. Происходит обратный слив части жидкости и превращение части потенциальной энергии в тепловую, требуется охлаждение. Этих недостатков нет у привода дроссельного управления с гидронасосом переменной подачи.

Вследствие сказанного гидроприводы дроссельного управления с гидронасосом постоянной подачи применяются в роботах меньшей грузоподъемности (десятки килограммов), а с гидронасосом переменной подачи — в основном для роботов большой и сверхбольшой грузоподъемности (сотни килограммов).

Схема гидравлического привода дроссельного управления с гидронасосом переменной подачи показана на рис. 3.20. Рабочая жидкость подается из бака 1 через фильтр 2 с помощью гидронасоса переменной подачи 3. Там имеется электродвигатель 5 и регулятор подачи насоса 4.

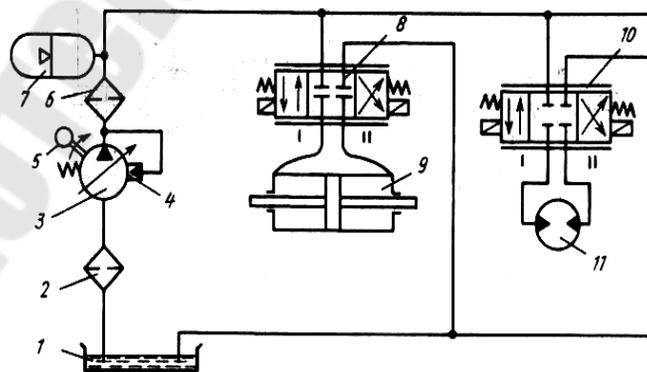


Рис. 3.20. Схема гидравлического привода дроссельного управления

Затем рабочая жидкость проходит фильтр тонкой очистки 6. Пневмогидравлический аккумулятор 7 служит для стабилизации давления в нагнетающей магистрали при резких его изменениях (подключение, отключение потребителей).

Гидродвигатель состоит из золотникового распределителя (8, 10) и силового гидроцилиндра 9 или же гидромотора 11. Дросселирование потоков рабочей жидкости достигается путем изменения проходных сечений золотникового распределителя. Проходное сечение зависит от положения кромки золотника относительно проточки золотниковой втулки. Величиной проходного сечения, т.е. смещением золотника, определяется скорость перемещения гидродвигателя.

Представляют интерес для применения в промышленных роботах также *электрогидравлические приводы объемного управления*. Они имеют лучшие энергетические и нагрузочные характеристики, чем окупается их более высокая стоимость. Но применяются они пока еще в роботах редко, хотя, безусловно, перспективны в основном для роботов большой и сверхбольшой грузоподъемности. На рис. 3.21 дана схема гидропривода объемного управления.

В этих гидроприводах положение и скорость подвижной части гидропривода 9 или силового гидроцилиндра 10 регулируются не дроссельными золотниковыми устройствами, а с помощью изменения подачи гидронасоса 5 (с электромотором 4) по соответствующим командам управления. При этом гидронасос 5 обладает реверсированием. Подача этого гидронасоса управляется микрогидроприводом дроссельного управления 6, питаемого через фильтр 3 гидронасосом постоянной подачи 2 из емкости рабочей жидкости 1. Насосом 2 производится подпитка всей системы через клапаны 7.

Таким образом, здесь имеется магистраль низкого давления, в которой работает микрогидропривод 6, и магистраль высокого давления для двигателей 9 и 10. Предохранительные клапаны 8 служат для исключения больших случайных перегрузок в магистрали. Важно отметить, что каждый гидродвигатель 9 и 10 имеет свою отдельную регулируемую систему, включающую в себя гидронасос переменной подачи 5 с микроприводом дроссельного управления 6.

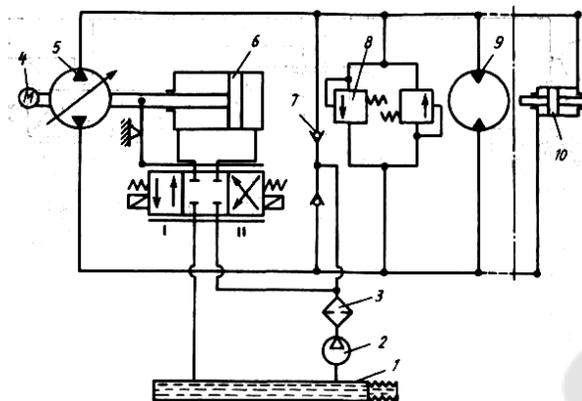


Рис. 3.21. Схема гидравлического привода объемного управления

Представляет интерес применение в роботах *неполноповоротного лопастного гидродвигателя* (рис. 3.22), именуемого кратко гидроквadrантом. Вал 1 двигателя с лопастью поворачивается в корпусе 3 в ту или другую сторону при поступлении жидкости от специального золотникового устройства 2. Вал двигателя имеет ограниченный угол поворота, например до 270° .

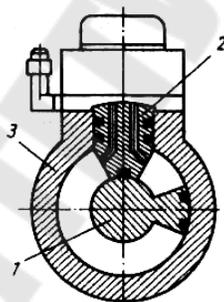


Рис. 3.22. Схема неполноповоротного гидродвигателя типа «гидроквadrант»

Он способен вести непосредственно звено манипулятора без промежуточных передач.

Присутствие пузырьков воздуха в рабочей жидкости гидравлических устройств является источником незатухающих колебаний (автоколебаний), вызывающих поломки механизмов манипуляторов. Твердые частицы (размером 5 мкм и более), находящиеся в масле, приводят к износу поверхностей цилиндров, плунжеров и клапанов.

Поэтому на заводах, эксплуатирующих роботы с пневматическими и гидравлическими приводами, имеются специальные службы контроля качества воздуха и рабочей жидкости.

С целью устранения указанных ранее недостатков в более совершенных роботах стали применять комбинированные приводы: пневмогидравлические, электро-пневмогидравлические. Такие приводы улучшают динамические характеристики силовой части, снижают энергетические затраты на управление и упрощают механизмы соединения с манипуляторами (рис. 3.23).

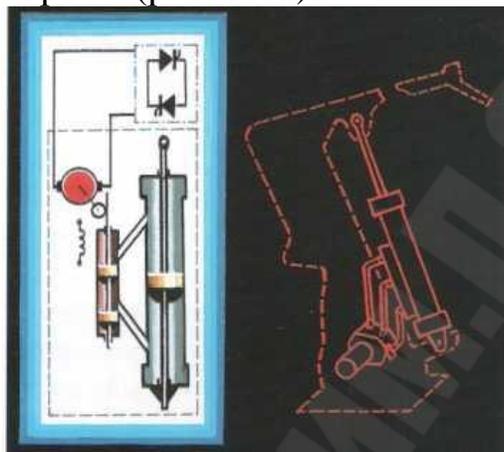


Рис.3.23. Схема электрогидравлического привода робота

В качестве *примера* рассмотрим процесс роботизации сборки и сварки автомобильных кузовов. Поточная линия первого типа состояла из крупногабаритных роботов, выполняющих одновременно несколько сложных операций. Эти роботы снабжались мощными гидроприводами. С пуском поточной линии увеличился выпуск автомобилей и повысилось их качество. Казалось, что это техническое решение гарантирует высокие показатели эффективности производства. Однако данная поточная линия не позволяла изменять конструкцию корпусов один раз в четыре года, а это не отвечало потребностям рынка.

Фирма разработала поточную линию второго типа, заменив сложные роботы с гидравлическими приводами на большое количество простых роботов с электрическими двигателями. Для выполнения операций, требующих высокой грузоподъемности, оставили несколько простых роботов с гидроприводами. Такая поточная линия привела к сокращению производственных площадей, повышению коэффициента использования оборудования, снижению стоимости производства, а главное, обеспечила возможность перехода от одной модели автомобиля к другой за короткий срок.

3.6.3. Датчики связи робота с окружающей средой

Роботы взаимодействуют с *внешней средой* с помощью *датчиков осязания* и приборов *технического зрения*. Датчики *разделяются* на две группы: *силовые* — для обеспечения безопасности работы — и *тактильные* — для распознавания окружающего пространства. Приборы *технического зрения*, основанные на зрительном восприятии деталей и изделий, достаточно сложны. Они должны не только *видеть объект*, но и *определять его по наиболее характерным признакам*. Информация об объекте представляется в форме, удобной для поступления в микроЭВМ, которая принимает решение о действиях манипуляторов.

Касание схватом деталей происходит в *нескольких точках*, поэтому приходится *определять результирующую реакцию* со стороны детали. Иначе говоря, необходимо знать точку приложения, величину и направление силы.

Сначала зарождения робототехники до наших дней специалисты выделяли *две проблемные операции при сборке деталей: захватить деталь (стержень) роботом и вставить деталь (стержень) в отверстие (операция типа «втулка».*)

Если *первая задача* решается с помощью *приборов технического зрения*, то *вторая* — с помощью *датчиков силового осязания*.

Силомоментные системы осязания - это сенсорные устройства, обеспечивающие измерение компонент вектора силы и вектора момента сил, развиваемых роботом в процессе взаимодействия с изделием в проекции на некоторую систему координат.

Система силомоментного осязания состоит из механической части, представляющей собой совокупность упругих элементов с размещенными на них тензопреобразователями, формирующими электрический сигнал, пропорциональный деформации упругого элемента, усилительных и коммутирующих устройств и устройства для вычисления величин проекции вектора силы и вектора момента силы (рис. 3.24). В качестве вычислительного устройства используется либо специальный микропроцессор, встроенный в силомоментную систему, либо микроЭВМ управляющего устройства робота. Аналоговая часть силомоментной системы, формирующая совокупность электрических сигналов, величина которых пропорциональна деформациям

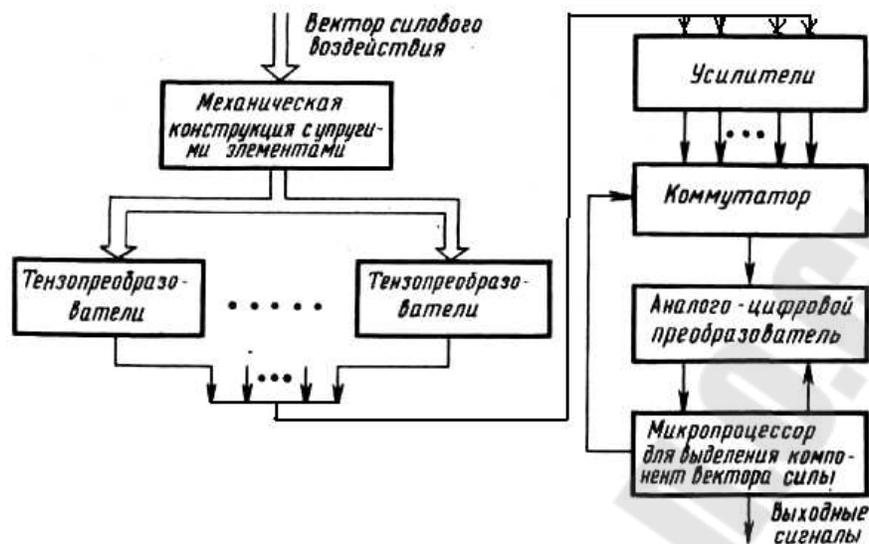


Рис. 3.24. Структурная схема системы силомоментного очувствления

конструкции, возникшей вследствие сложного силового нагружения, сопрягается с цифровым вычислительным устройством с помощью аналого-цифрового преобразователя, представляющего аналоговые электрические сигналы в виде параллельного двоичного цифрового кода.

Наиболее часто датчики системы силомоментного очувствления устанавливаются между последним звеном робота и его захватным устройством или инструментом. В этом случае компоненты силового вектора измеряются в проекции на связанную с захватом систему координат.

На рис. 3.25 и 3.26 показано устройство механической части двух силомоментных датчиков, главное отличие которых заключается в используемом методе преобразования вектора сил или вектора момента сил в электрическое напряжение. В первом из них (рис. 3.25) силовое воздействие, приложенное между центральным фланцем, к которому крепится, например, инструмент, и четырехсегментным внешним фланцем, присоединяемым к последнему звену робота, деформирует крестообразно расположенные упругие элементы и наклеенные на них тензорезисторы.

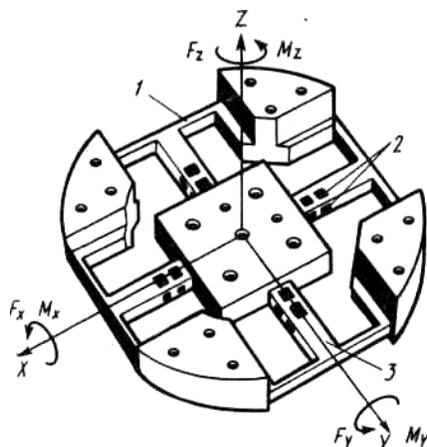


Рис. 3.25. Датчик силомоментного оцувствлення с тензопреобразователями:
1 - диафрагма; 2 - тензорезисторы; 3 - упругий элемент

Вследствие растяжения или сжатия тензорезисторов изменяется их сопротивление, что используется для получения электрического сигнала,

пропорционального действующим компонентам силового воздействия.

Во второй конструкции (рис. 3.26) силы или момент сил, действующие между фланцем для крепления инструмента и корпусом, присоединяемым к запястью робота, деформируя упругие элементы, вызывают взаимное смещение каждого из трех источников света и координатных фотоприемников, в результате чего генерируется электрический сигнал, пропорциональный перемещению и, как следствие, исходной силе и моменту силы.

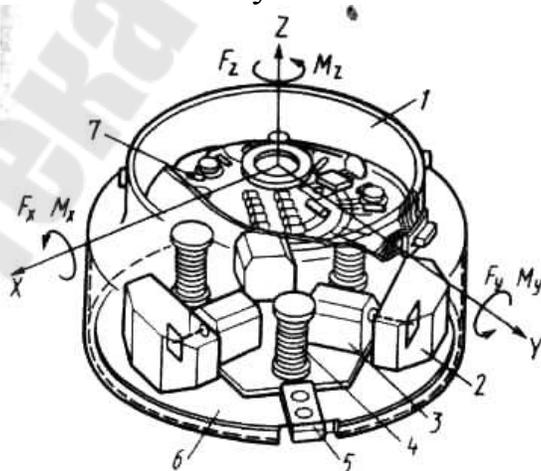


Рис. 3.26. Датчик силомоментного оцувствлення с преобразователями перемещения:

1 - корпус, присоединяемый к запястью робота; 2 - координатный фотоприемник; 3 - источник света; 4 - металлополимерный упругий элемент; 5 - ограничитель; 6 - фланец крепления инструмента; 7 - электронные компоненты

Примеры применения. Оснащение промышленного робота системой силомоментного очувствления позволяет преобразить его поведение.

Рассмотрим, например, сборку гладких цилиндрических или резьбовых соединений, которые в большом количестве встречаются в продукции машиностроения и приборостроения (установка поршней в цилиндры авто двигателя, запрессовка подшипников, крепление одних деталей к другим болтами, гайками, шпильками, штифтами и пр.).

Роботу сложно соединить два тела или вставить одно в другое, например цилиндр в круглое отверстие, даже если между ними существует зазор, так как всегда есть ошибки в относительном позиционировании и ориентации сопрягаемых деталей (рис. 3.27).

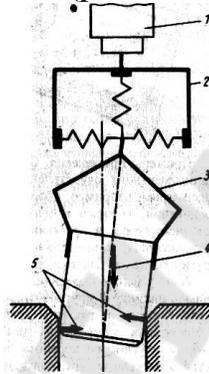


Рис. 3.27. Силы и моменты сил, возникающие в процессе сопряжения деталей с гладкими цилиндрическими поверхностями:

1 - последнее звено робота; 2 - силомоментный датчик; 3 - захватное устройство; 4 - направление движения; 5 - силы реакции

Из-за начальной несоосности и углового перекоса или затрудняется движение цилиндра от устья отверстия вглубь, или детали вообще заклиниваются. Так обычно и происходит при автоматизированной сборке с помощью неочувствленного робота, если погрешности позиционирования деталей оказываются больше допустимых. Если же робот адаптивный, снабженный силомоментной системой очувствления (рис. 3.28), то направление действия сил, возникающих при контакте сопрягаемых тел, ему известно, и он точно "знает", в каком направлении нужно переместить свое захватное устройство с зажатой в нем деталью, чтобы силы реакции либо стали равными нулю, либо не превышали заданной величины.

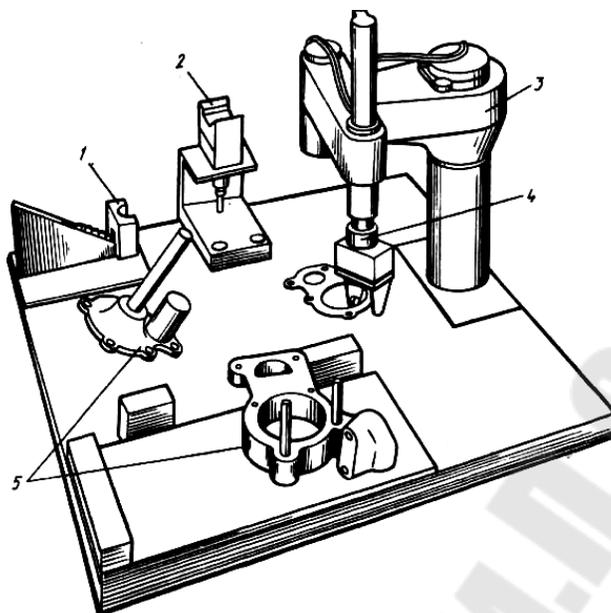


Рис. 3.28. Автоматизация процесса сборки:

1 – накопитель деталей; 2 – гайковерт; 3 – робот; 4 – силомоментный датчик; 5 – детали корпуса

Аналогичным образом поступает и человек, выполняя ту же операцию. Он стремится свести к нулю любое возникающее противодействие, машинально центрируя сопрягаемые детали, причем делает он это не задумываясь, даже если у него закрыты глаза.

Робот с силомоментным очувствлением подводит цилиндр к устью, затем, определив после соприкосновения по силам реакции направление на центр отверстия, начинает, не прерывая контакта, перемещать цилиндр к нему, постепенно выравнивая и вводя его внутрь до полного завершения сборки. Способность очувствленного робота определять направление на центр после контакта цилиндра с обычно более широкой входной частью отверстия позволяет чуть ли не в десять раз снизить требования к погрешности позиционирования и ориентации собираемых деталей.

Операции абразивной зачистки отливок и шлифования изделий также относятся к категории операций, с трудом автоматизируемых с помощью промышленных роботов, функционирующих по жесткой программе.

Причины трудностей заключаются в значительных отклонениях форм отливок и структуры заусенцев от образца к образцу, больших погрешностях их позиционирования на рабочей позиции, большом изно-

се абразивного инструмента в процессе обработки и во многих других факторах (рис. 3.29), не позволяющих обеспечить заданное качество обработки, управляя роботом по программе.

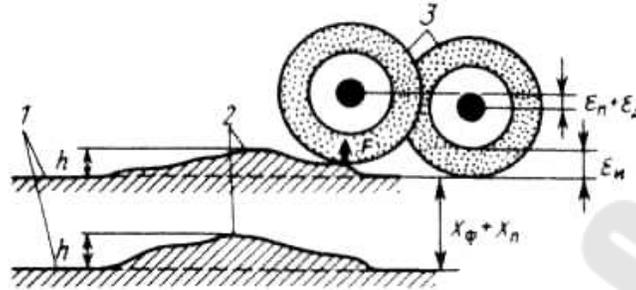


Рис. 3.29. Особенности автоматизации зачистки отливок

В то же время применение методов коррекции положения инструмента, использующих информацию о силах резания, позволяет роботу не только адаптироваться к неблагоприятному воздействию возмущающих факторов, указанных выше, но и обеспечивает возможность регулирования глубины резания и скорости подачи инструмента. Сущность активной коррекции заключается в организации комбинированного управления траекторией движения инструмента и величинами сил резания (рис. 3.30). Для этого предварительно обученному роботу устанавливают в рабочую позицию очередную отливку, подлежащую обработке, и переводят его в режим воспроизведения программы, выполняя которую он, измеряя силы и моменты сил, действующие между деталью и инструментом, корректирует свою скорость перемещения таким образом, чтобы значения сил резания не выходили за пределы допуска.

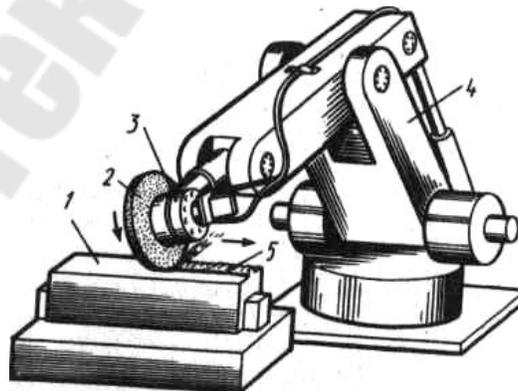


Рис. 3.30. Автоматизация зачистки литья с помощью робота с системой силомоментного очувствления:

1 - отливка; 2 - абразивный инструмент; 3 - силомоментный датчик; 4 - робот; 5 - облой

Если выполнение последнего условия приводит к значительному отклонению реальной формы обрабатываемой поверхности от желаемой, что может иметь место при шлифовании облоя больших размеров, то робот может принять решение о повторном проходе инструментом по уже обработанному участку детали.

Рассмотрим операцию установки валика во втулку двумя роботами (рис. 3.31).

Нижний робот захватывает с подающего устройства втулку. Его манипулятор поворачивается до тех пор, пока не займет положение против валика, находящегося в схвате верхнего робота. Затем схват с валиком опускается до его соприкосновения с поверхностью втулки.

Внутри кольцевой обоймы *верхнего схвата* имеются *тензометрические датчики*. Они показаны на рисунке снизу в перевернутом положении относительно исходного положения схвата.

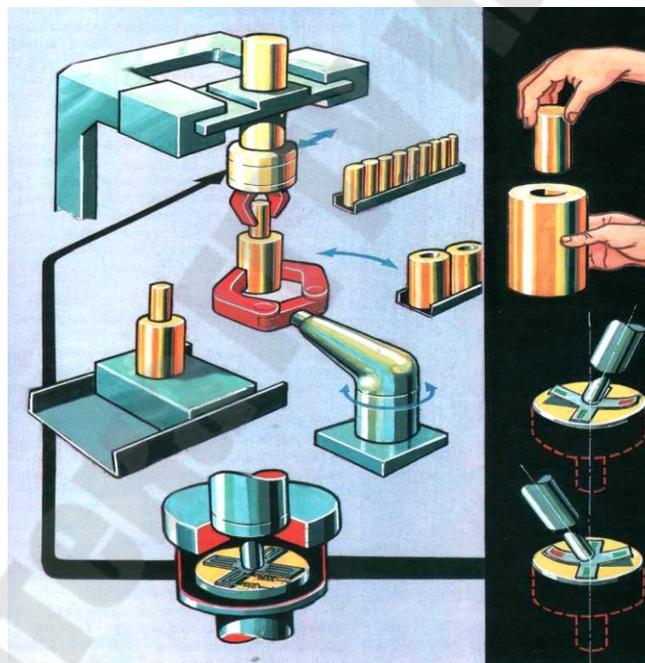


Рис. 3.31. Датчик силового очувствления сборочных роботов

Такое размещение на рисунке позволяет продемонстрировать все положения тензометров. На круглом диске, скрепленном с валом, поставлены крест-накрест тонкие пластинки с тензодатчиками, соединенными по мостовой схеме. Когда пластина не деформирована, вал занимает вертикальное положение и тензометрический мост

уравновешен. Снимаемое с него напряжение равно нулю, и привод, управляющий движением схвата, неподвижен.

В процессе сборки схват опускает валик до соприкосновения с поверхностью втулки. Затем он совершает поисковые движения по направлению к центру отверстия, соприкасаясь с боковыми стенками втулки (см. рис. 3.31, справа). Тогда с тензометрического моста снимается напряжение, управляющее движением схвата до совмещения осей валика и втулки. При нулевом напряжении схват опускается и вставляет в отверстие валик.

Наибольшее распространение получили *тактильные датчики* очувствления, распознающие геометрическую форму детали и ее положение для сборки. Существует множество датчиков различных типов с разными схемами размещения. Наиболее простыми являются *устройства с пластинками*, снабженными *чувствительными элементами* или *кнопками* (рис. 3.32, а).

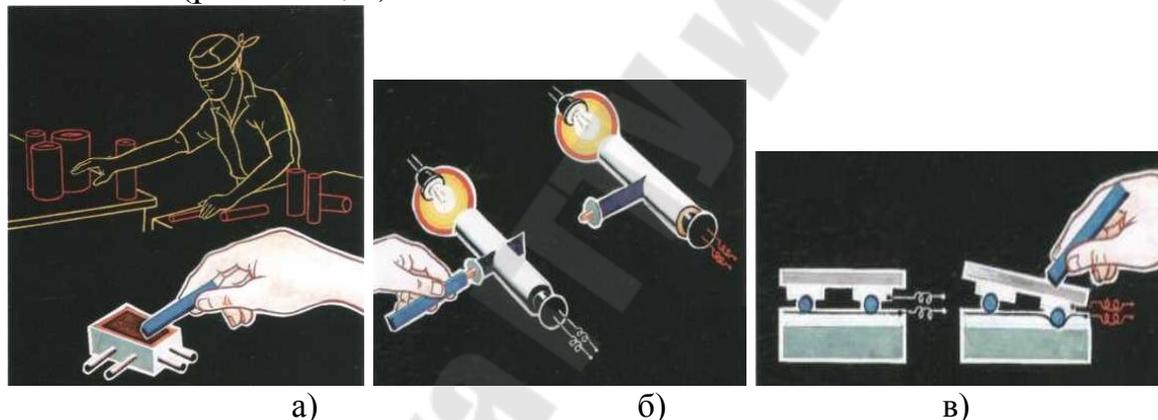


Рис. 3.32. Тактильные датчики для обнаружения и захвата предметов: а - с искусственной кожей; б - с контактами; в - с матрицей из электродов, размещенных между слоями искусственной кожи

При соприкосновении чувствительного элемента с деталью световой поток, идущий от светоизлучающего диода, перестает поступать на фототранзистор и снимаемое с него напряжение равно нулю. Это означает, что деталь заняла правильное положение в схвате.

В противном случае световой поток создает напряжение, управляющее положением схвата до тех пор, пока деталь не займет нужного положения. На схвате тактильные датчики устанавливаются в большем количестве, чем на звеньях манипуляторов. Многие из современных схватов имеют искусственную кожу.

На рис. 3.32, в показаны два положения кисти схвата, покрытой искусственной кожей. Между двумя электродами размещаются эластичные слои кожи, проводящие ток. При соприкосновении с деталью уменьшается сопротивление кожи и возрастает сила тока.

В зависимости от технологии сборки деталей искусственной кожей покрывают либо губки схватов, либо поверхности во внешней среде, например стол. Датчики из кожи на схвате обеспечивают ощупывание деталей. Это значительно повышает качество снимаемой информации по сравнению с датчиками, расположенными на столе, в которых под действием силы тяжести возникают только отпечатки деталей. На высокороботизированных предприятиях часто прибегают к обоим способам, что уменьшает появление ошибочных решений, принимаемых роботами.

В случае использования схвата с искусственной кожей применяют методы распознавания изображений. При большом числе электродов повышается разрешающая способность схватов, но возрастают уровни шумов в сигналах. Выделение истинных сигналов на фоне шумов производится в реальном масштабе времени, а это требует высокого быстродействия микро ЭВМ.

На рис. 3.33 показано пять положений схвата относительно детали. Щетки оснащены тактильными датчиками. В центре схвата установлен фотоэлектронный датчик, оценивающий первоначальное положение детали.

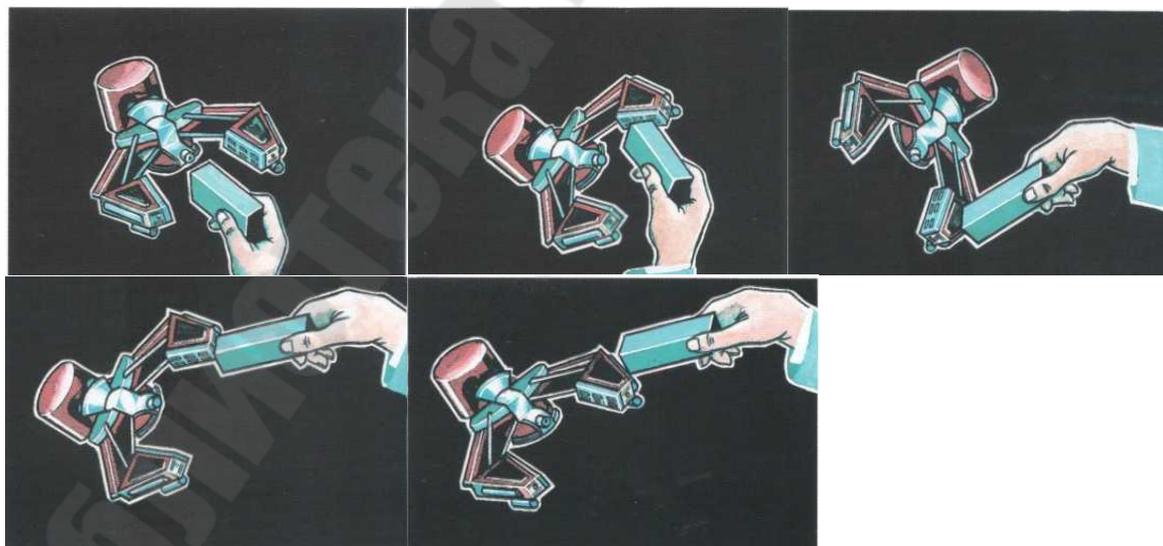


Рис. 3.33. Обнаружение предметов охватом в ближней зоне с помощью тактильных датчиков

Если она находится дальше зоны действия, то снимаемый сигнал заставляет манипулятор продвигаться в направлении к детали. При ее соприкосновении с различными участками щечек вырабатываются сигналы, заставляющие схват занять правильную ориентацию относительно детали. Затем происходит ее захват, и манипулятор движется к другому роботу для выполнения сборки.

Управление промышленными роботами происходит достаточно быстро, и тактильные датчики не всегда успевают срабатывать. Это может привести к поломке манипуляторов. Чтобы избежать аварий, применяются *дальномеры*, определяющие расстояние от схвата до деталей. В случае необходимости они уменьшают скорость движения схвата при сближении.

Локационными системами очувствления называются сенсорные устройства, позволяющие роботу, используя принципы пассивной или активной локации, обнаруживать подвижные и неподвижные объекты, координаты которых известны с большой погрешностью, определять их местоположение, а также осуществлять наведение и захват этих объектов.

При *пассивной локации* датчики улавливают излучение искомого объекта и определяют его координаты. Для *активного режима измерения* характерно, что локационная система включает в себя помимо приемников излучения еще и источник сигналов, посылаемых в направлении предполагаемого местонахождения объекта. Отраженные волны регистрируются приемниками.

Аналогом пассивных локационных систем очувствления в живой природе является слух животных и человека, а наиболее ярким примером активной локации может служить способность летучих мышей обнаруживать добычу и препятствия во время полета в темноте. Однако, заимствуя методы локации у живой природы, исследователи не ограничились только акустическими волнами, поэтому при конструировании локационных устройств для робототехники наряду с акустическими ультразвуковыми дальномерами используются оптические и электромагнитные методы измерения расстояний.

Таким образом, принцип действия большинства современных локационных систем базируется на *излучении и приеме* акустических или электромагнитных волн в предположении, что скорость распространения этих волн до препятствия и обратно известна с достаточной точ-

ностью и практически не изменяется в течение периода измерения дистанции.

Принцип действия. Локационная, например ультразвуковая, система очувствления работает следующим образом (рис. 3.34). Синусоидальные колебания, формируемые специальным генератором, модулируются прямоугольными импульсами таким образом, что излучатель передает в окружающую среду пачки ультразвуковых колебаний (похожие на прерывистый сигнал зуммера телефона), частота которых соответствует рабочей частоте генератора колебаний и в большинстве случаев находится в диапазоне 40-100 кГц. Одновременно с помощью генератора импульсов в момент времени, соответствующий переднему фронту излученного в пространство сигнала, запускаются своеобразные часы локационной системы, в качестве которых выступает счетчик импульсов.

Зондирующий ультразвуковой сигнал, отразившись от препятствия,

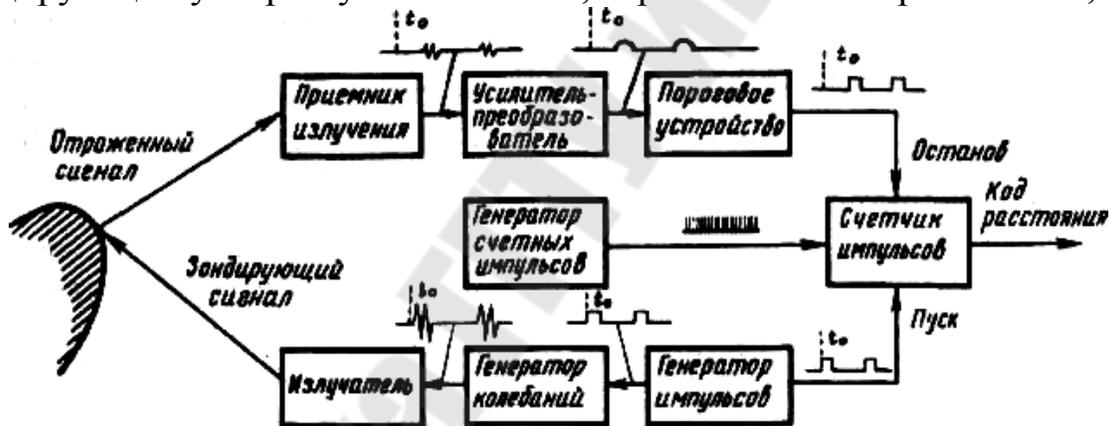


Рис. 3.34. Принцип действия локационной системы

попадает в приемник излучения, где преобразуется из акустической в электрическую форму, усиливается и отфильтровывается от помех. Одновременно из него выделяется модулирующая составляющая, которая с помощью порогового устройства представляется в виде прямоугольных импульсов, следующих на счетчик и останавливающих процесс счета. Так как принятые сигналы запаздывают по отношению к зондирующим на время их прохождения до препятствия и обратно, то число импульсов, накопленное в счетчике за этот период, будет пропорционально удвоенному расстоянию до объекта при условии, что излучатель ультразвука и приемник находятся в непосредственной близости друг от друга.

Несмотря на относительную простоту и дешевизну, локационные системы очувствления помогают автоматизировать большое количество разнообразных технологических операций, в том числе тех, которые без применения локационных систем автоматизировать было невозможно или экономически нецелесообразно.

Обширную группу локационных систем составляют ультразвуковые локаторы, устанавливаемые, как правило, на захватном устройстве робота (рис.3.35). Обычно ультразвуковые локаторы, служащие для очувствления захвата, имеют совмещенный излучатель – приемник ультразвука, что позволяет уменьшить размеры и разместить его между губками. Измерение дистанции до объекта манипулирования производится с помощью ультразвукового локатора.

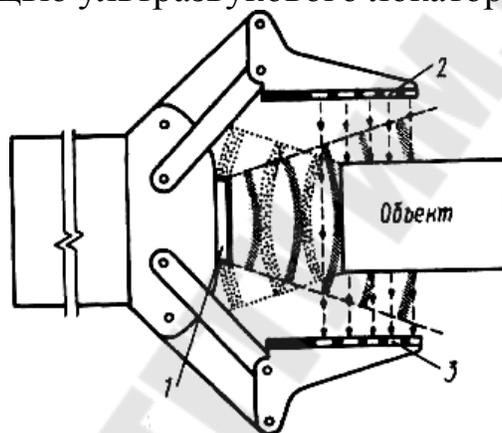


Рис. 3.35. Локационные датчики на захватном устройстве робота:
1 - ультразвуковой локатор; 2 - инфракрасные светодиоды; 3 - фотодиоды

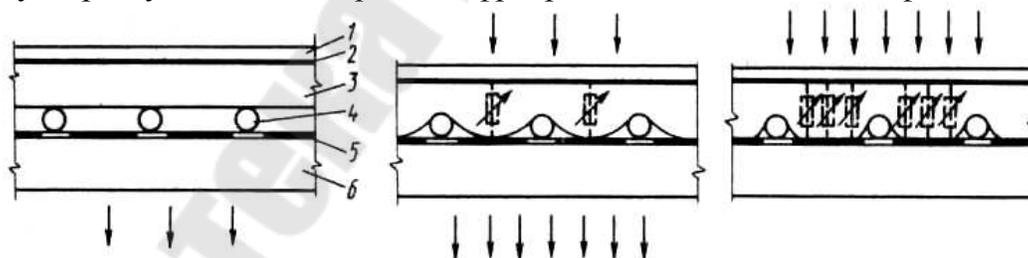


Рис. 3.36. Устройство пропорциональной тактильной матрицы:
1 - упругое покрытие; 2 - электроды продольных рядов; 3 – слой электропроводящего пластика; 4 - сепаратор; 5 — электроды поперечных рядов; 6 - подложка

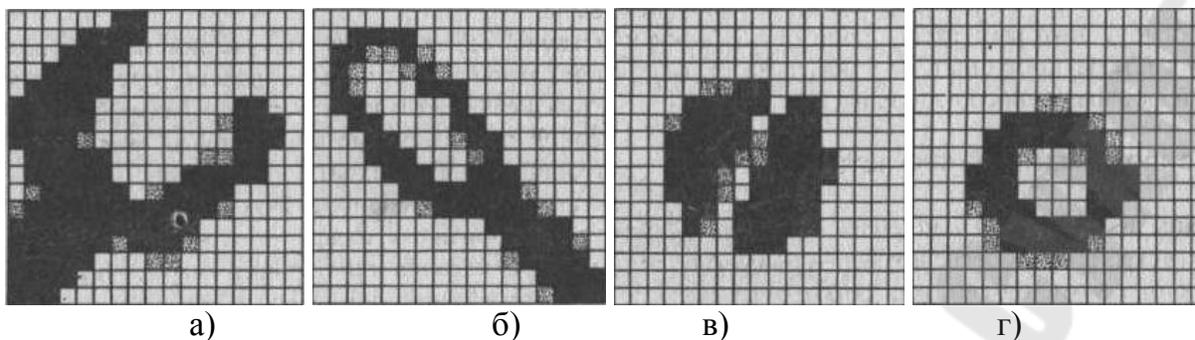


Рис. 3.37. Примеры тактильных образов, регистрируемых на матрице размерностью 17x17 элементов:

а - клемма; *б* - ламель; *в* - головка винта со шлицем; *г* — шайба

Существует, однако, одна область применения тактильных систем, которую они завоевали довольно уверенно, далеко оттеснив возможных конкурентов. Речь идет о контрольно-измерительных роботах, представляющих собой прецизионные машины, снабженные тактильным щупом вместо традиционного захватного устройства (рис. 3.38). Принцип действия такого робота довольно прост.



Рис. 3.38. Применение роботов, снабженных тактильными щупами, для оценки погрешности сборки корпуса самолета

При контроле формы какого-либо крупногабаритного изделия робот ощупывает его по заданной программе. При касании тактильного датчика с поверхностью изделия формируется электрический сигнал, отмечающий данное событие. По этому сигналу микроЭВМ системы управления прерывает движение робота и считывает показания с датчиков положения его степеней подвижности, на основе которых рассчитывается положение точки касания в некоторой системе

координат, выбранной в качестве базы для оценки отклонений формы данного изделия от эталона.

Рассмотрим принцип действия *ультразвукового дальномера* (рис. 3.39). На концах щечек схвата расположены передающие устройства, а сверху — приемное устройство (рис. 3.39 *а*). Сверху линией показаны импульсы, посылаемые ультразвуковым передатчиком, а следующей за ней линией - сигналы, снимаемые с приемника. После переработки их на микро ЭВМ вычисляется время между посылаемыми и принимаемыми сигналами. Так находится расстояние до детали или препятствия.

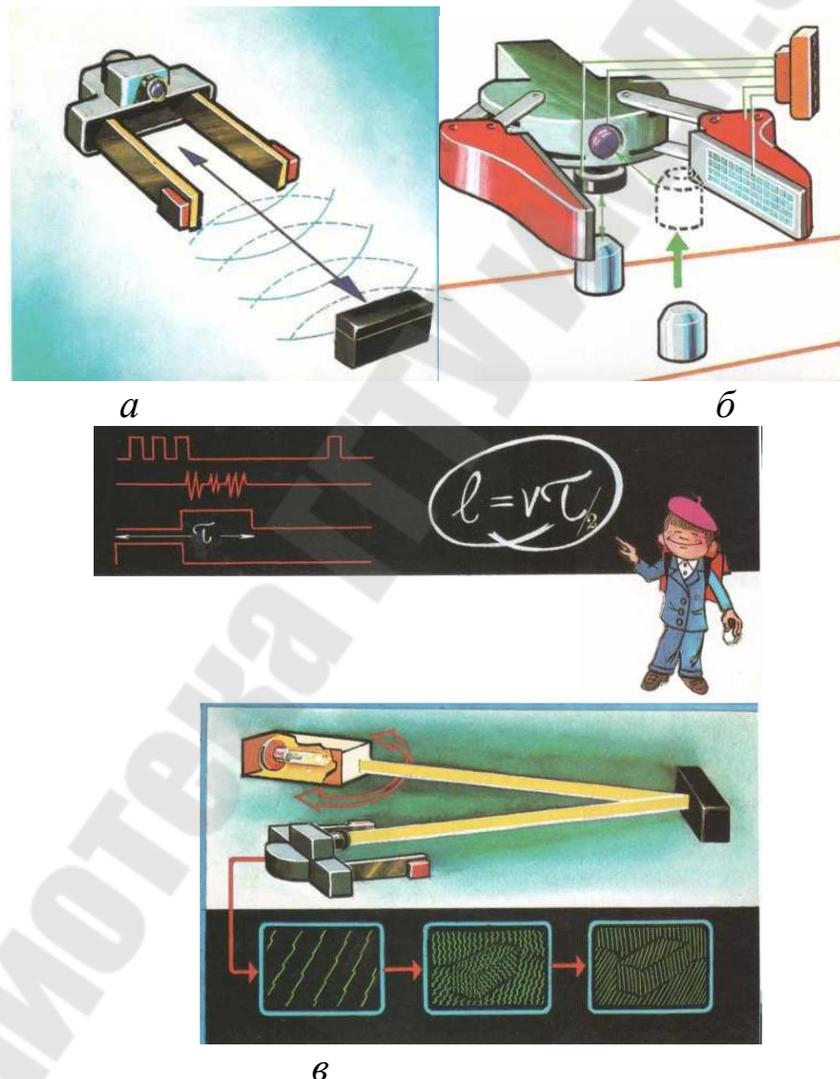


Рис. 3.39. Приборы технического зрения: а — с ультразвуковым дальномером; б — с фотоэлементом и матрицей тактильных датчиков; в — с щелевой камерой при подсветке объекта

Кроме этого стали применять датчики со световым или инфракрасным излучением. Дальномер иногда используется для целей распознавания при большом числе измерений. На рис. 3.39 в показан один из наиболее простых способов определения объемной формы детали с помощью поворотного устройства со световым источником излучения и неподвижной щелевой камерой.

В первом прямоугольнике изображен сигнал, снятый со щелевой камеры в увеличенном масштабе. Он представляет собой набор наклонных прямых с изломами.

Вращая световой источник в обе стороны и производя съемку щелевой камерой в истинном масштабе, получаем рисунок, показанный во втором прямоугольнике. На нем видно, что на фоне сетки прямых, искаженных шумами, в центре просматриваются размытые изображения плоскостей объекта.

В третьем квадрате показан объект после пространственной фильтрации, совпадающий с истинным объектом.

Существует много других способов формирования изображений с использованием подвижных и неподвижных телевизионных камер имеющих различные числа квантования точек (рис. 3.40).

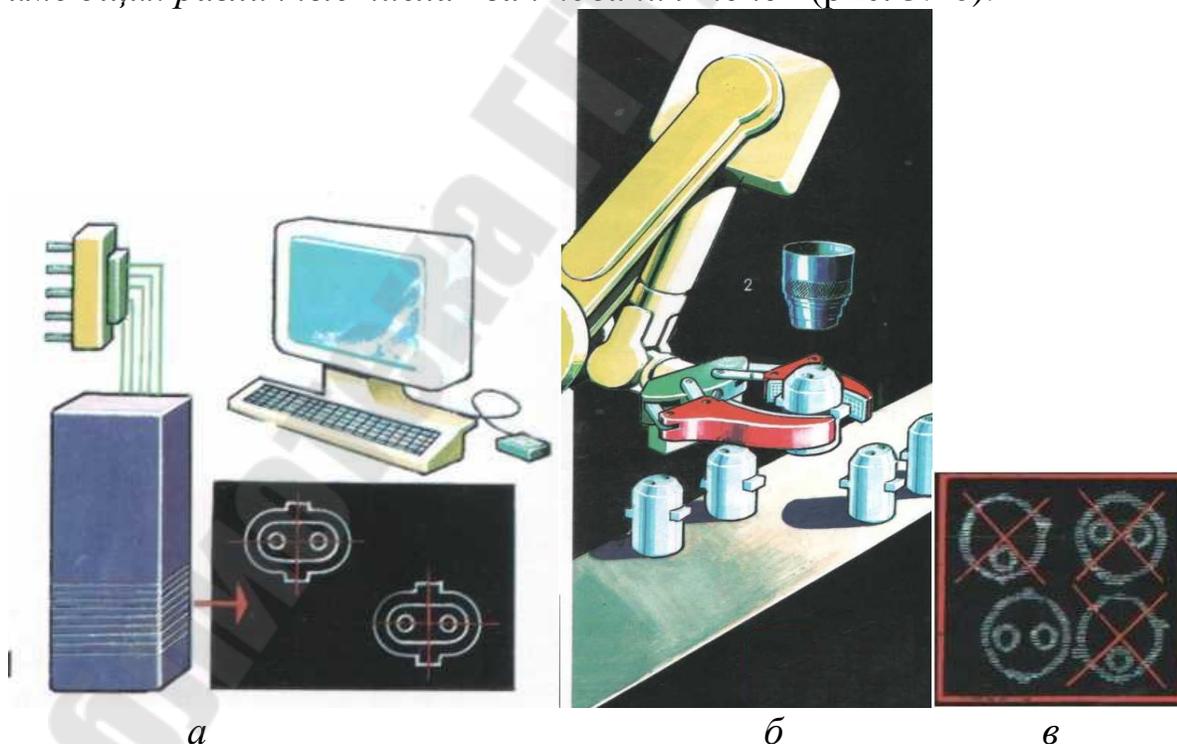


Рис. 3.40. Неподвижная видеокамера с ЭВМ, формирующая изображения от совокупности характеристических векторов при просмотре цоколей ламп

Преобразование снятых сигналов в двоичный код выполняется на микро ЭВМ. В ее памяти выделяются определенные объемы, позволяющие кодировать яркость в каждой точке. Путем сравнения с установленным порогом яркости изображение в виде двоичного кода обрабатывается *построчно*. На экране дисплея оператор видит полное изображение двух изделий по направлению стрелки (рис. 3.40 а).

Приборы технического зрения подобного рода *имеют высокую разрешающую способность*. Изображение в виде матрицы 1024x1024 состоит из 32 полутонов и содержит 8 388 608 точек.

Распознавание изделия происходит с помощью наложения на него *эталона*. Такая методика требует много машинного времени и имеет следующие недостатки: эталон должен иметь правильные размеры, поиск должен производиться *по сдвигу и вращению*, *пространственное квантование образует ошибки*.

Современные роботы снабжаются камерами, несущими небольшие объемы информации о виде изделия и его расположении. На рис. 3.40 б показана *неподвижная камера*, имеющая разрешающую способность 100x100 точек. Снимаемый с нее сигнал сравнивается с пороговым сигналом, и затем формируется изображение изделий. Результат просмотра цоколей ламп роботом, определяющим качество изготовления, представлен на рис. 3.40 в. Три цоколя, перечеркнутые крестом, имеют производственные дефекты, что делает их непригодными для практического применения. Только четвертый из них является качественным.

С целью *упрощения распознавания* изделий телевизионными камерами стали разрабатывать новые методы. Основное их различие состоит в том, что *на выходе выделяются изображения не из отдельных точек, а из совокупности характеристических векторов*. Под ними обычно понимаются *виды поверхностей*, минимальный и максимальный *радиусы кривизны* и некоторые другие векторы.

Если пользоваться всем набором векторов, то следует прибегать к методам моделирования. Тогда упрощается процедура принятия решения, так как гарантируется высокая достоверность правильного определения изделия.

Наряду с *неподвижными камерами*, промышленные роботы оснащаются *подвижными*, повышающими точность пространственной ориентации изделий. В тех случаях, когда затраты времени превышают допусти-

мые, или прибегают к параллельным вычислениям, или после реализации части программы начинается ее исполнение роботом.

Размещение на *схвате* нескольких, различно ориентированных, подвижных камер значительно увеличивает число измерений. Их сложно обработать даже на самых производительных микро ЭВМ. Накопленный опыт работы показал, что для распознавания, принятия решения и захвата следует иметь информацию, снимаемую не только с камер, но и с дальномеров и датчиков (рис. 3.41, 3.42).

3.6.4. Системы управления роботом

Промышленные роботы по системам управления можно разделить на четыре вида.

К *первому виду* относятся роботы с цикловым управлением (без обратной связи), способные неоднократно выполнять одинаковые операции. В этом случае в памяти запоминающего устройства хранится только одна программа.

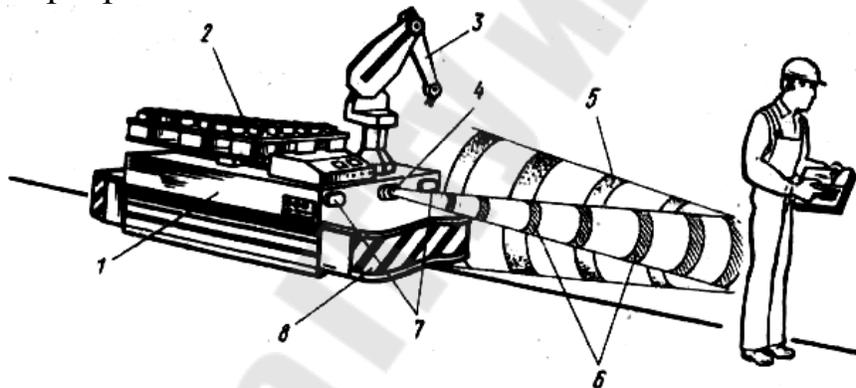


Рис. 3.41. Локационные датчики безопасности движения внутрицеховых транспортных средств:

1 - автоматическая транспортная тележка; 2 - палета с заготовками; 3 - робот; 4 - излучатель; 5 - отраженный сигнал; 6 - зондирующий сигнал; 7 - приемник излучения; 8 - упругий бампер с контактными датчиками

Система управления является самой простой и дешевой. Она получила широкое распространение в промышленности для обслуживания несложных технологических процессов.

Ко *второму виду* относятся роботы, имеющие отрицательную обратную связь. В памяти вычислительного устройства хранятся различные программы. Поэтому роботы данного вида способны переходить от выполнения одной траектории к выполнению другой. В результате один робот может обслуживать различные технологические операции.

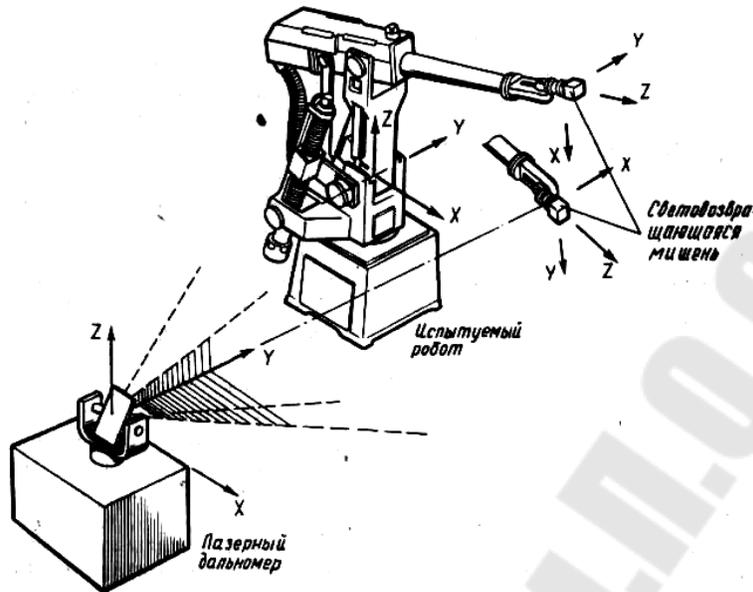


Рис. 3.42. Пример применения локационной системы для определения погрешности позиционирования робота

К *третьему виду* относятся роботы, действия которых формируются полностью в процессе обучения.

Человек на специальной плате с помощью рукоятки выполняет процедуру, определяющую движение робота по траектории, а вычислительная машина записывает ее в память.

В системах управления с циклическими перемещениями в конструкцию привода вводится рычаг, выравнивающий положения клапана и штока силового цилиндра.

При позиционном управлении на штоке устанавливается датчик положения, создающий главную отрицательную обратную связь.

Обучение робота занимает много времени, так как человек-оператор многократно изменяет положение звеньев и схвата, добиваясь выполнения заданной операции. Полученная таким способом программа на микроЭВМ может использоваться много раз.

Недостаток программирования с помощью обучения состоит в том, что если основная часть собираемого изделия сместится со своего первоначального положения, при котором происходило обучение, робот не сможет правильно выполнить операцию сборки.

Весь контроль и управляющая электроника, кроме платы последовательных измерений, которая расположена в манипуляторе, обычно располагаются в контроллере (рис. 3.43, 3.44).

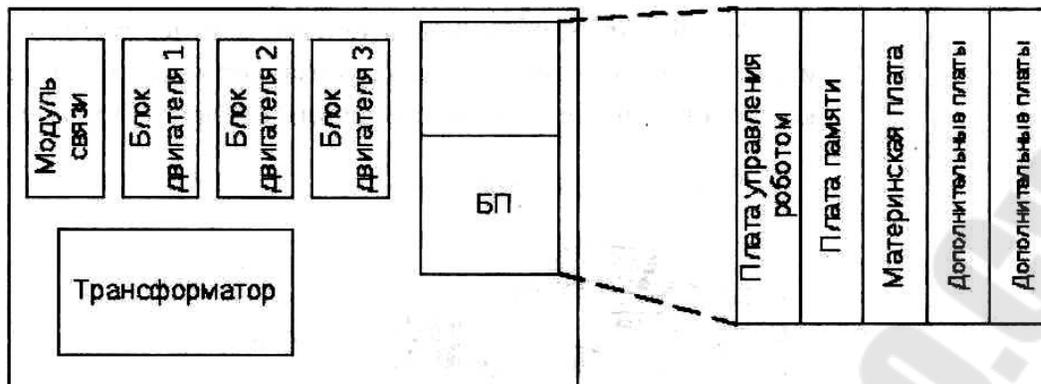


Рис. 3.43. Расположение электронных панелей и блоков

Плата управления роботом содержит элементы, используемые, для управления движением манипулятора и обработки информации.

Плата памяти - содержит дополнительную оперативную память 6,8 и 16 МВ.

Материнская плата - содержит память RAM на 4 МВ и управляет системой робота.

Дополнительные платы - платы связи, содержащие кругообороты для сети Network и коммуникации через bus-шину.

Блок питания (БП) преобразует входное напряжение в 4 регулируемых и защищенных от короткого замыкания напряжения для различных плат.

Модуль связи преобразует трехфазное переменное напряжение в постоянное напряжение.

Плата последовательных измерений (в манипуляторе) собирает данные исполняющего устройства и передает их последовательно плате управления роботом.

Плата последовательных измерений питается батареей так, чтобы информация не была потеряна в случае отключения питания.

Материнская плата и плата управления роботом - центр обработки данных. Они обладают всеми функциями, требуемыми для создания, выполнения и хранения программы робота. Они также содержат функции для координации и регулировки движения осей.

На рис. 3.44 показано, как центр обработки данных связан с другими блоками.

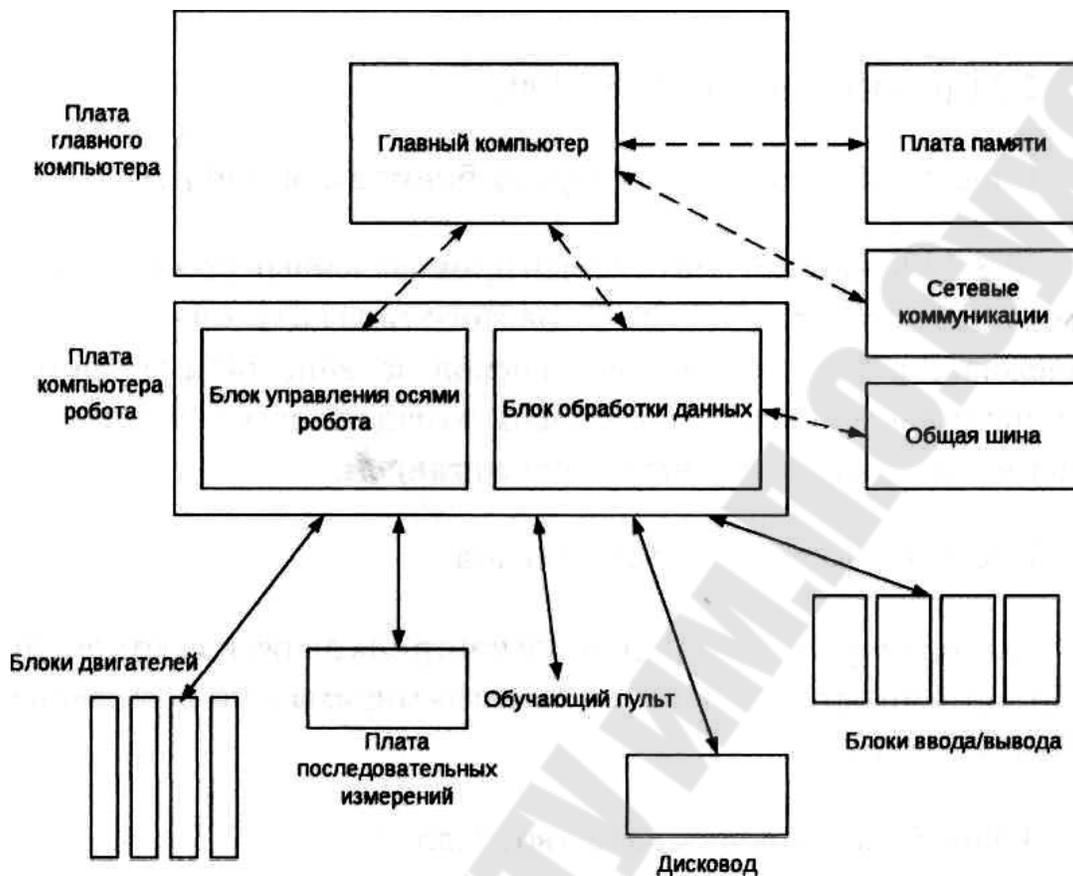


Рис. 3.44. Интерфейсы компьютерной системы робота

Главный компьютер осуществляет сбор информации, поступающей с блока обработки данных и от других компьютеров сети Network.

На блок обработки данных поступают сигналы от пульта управления. Управление производится оператором вручную при программировании робота и при корректировке программ с дисковода. При запуске системы необходимо *подгружать рабочие программы* в оперативную память робота с блоков ввода/вывода, на которые поступают сигналы с датчиков, необходимых для корректной и безопасной работы робота, а в свою очередь с блоков ввода/вывода на периферийные устройства поступают сигналы о готовности систем робота к выполнению поставленных задач.

На основе полученной и обработанной информации *главный компьютер* формирует управляющие сигналы, которые через блок управления осями робота и с учетом заданной программы осуществляет запуск двигателей соответствующих осей. Контроль выполнения программ осуществляется с помощью платы последовательных измерений.

Четвертый вид — это роботы с искусственным интеллектом. При работе они могут находить нужные детали, оценивать обстановку в зоне обслуживания и принимать наилучшие решения путем выработки стратегии своего поведения.

Интеллектуальный робот выполняет операции сборки, требующие исключительно высокой точности сопряжения деталей. В последнее время значительное внимание стали уделять разработке самообучающихся роботов, которые смогут обслуживать технологические операции любой степени сложности.

Рассмотрим функционирование робота 1-го вида. Его действия выполняются в жестком рабочем цикле: схват берет деталь в определенном месте, переносит ее для обработки на станок, а затем передает на следующую операцию.

Такой цикл может многократно повторяться без изменений.

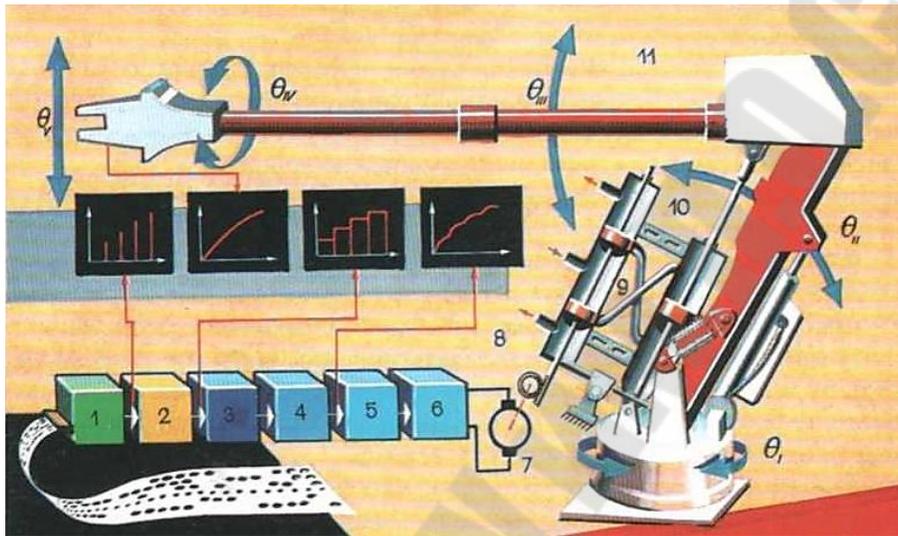
Робот предназначен для выполнения погрузочно-разгрузочных и межоперационных работ при обслуживании кузнечных, прессовых и механообрабатывающих станков. Перемещение заготовки или детали в пространстве осуществляется с помощью манипулятора, состоящего из трех звеньев и схвата. Звенья имеют три степени подвижности, а схват — две степени. Программы управления рассчитывают узловые точки траектории манипулятора и записывают их на различные носители.

Поясним принцип действия системы управления роботом с гидравлическим силовым цилиндром (рис. 3.45 *a*). На рисунке показано управление вторым звеном. Через считывающее устройство 1 программа вводится в запоминающее устройство 2, где может сохраняться длительное время, пока робот выполняет заданную технологическую операцию.

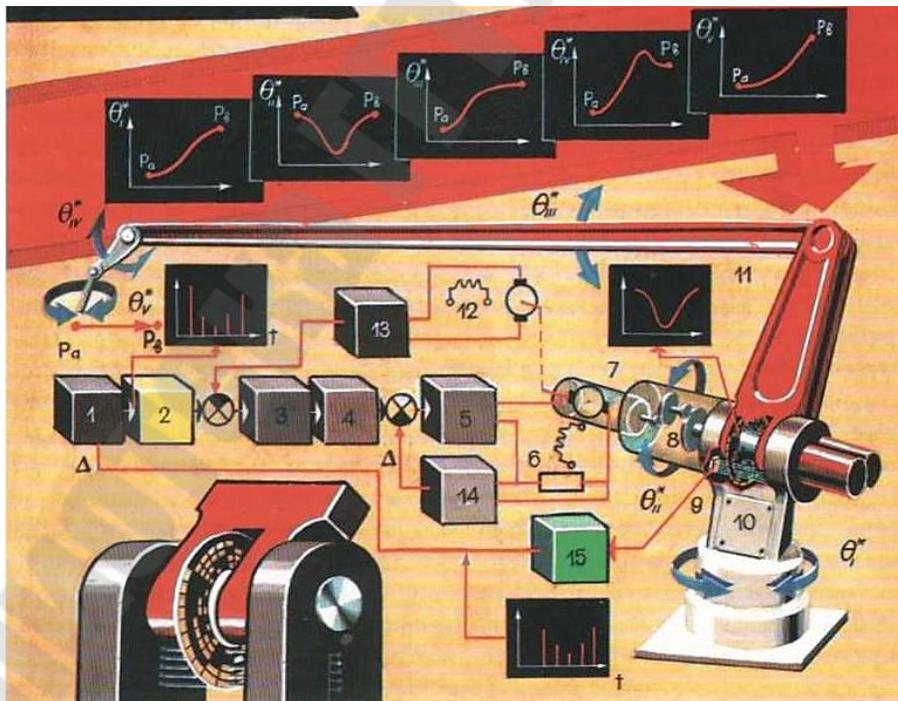
Команды управления с устройства 2 поступают на цифроаналоговый преобразователь 3, который формирует дискретный

сигнал прямоугольниками, затем он сглаживается фильтром 4. В результате образуется непрерывный сигнал с небольшой периодической составляющей. Далее сигнал поступает через предварительный усилитель 5 на усилитель мощности 6, питающий якорь электродвигателя 7. Вал электродвигателя приводит во вращение редуктор 8 с зубчатой рейкой, перемещающей золотник гидравлического клапана силового цилиндра 9. Жидкость под большим давлением через открывшийся зазор клапана поступает в силовой цилиндр 10. Поршень со штоком начинает перемещаться. Одновременно

с этим в обратном направлении движется корпус клапана, прикрывая зазор и поворачивая звено манипулятора 11. Таким способом осуществляется процесс самовыравнивания гидравлического привода: каждому положению золотника соответствует определенная величина перемещения штока.



а



б

Рис. 3.45. Системы управления промышленными роботами для формирования траекторий движения звеньев: а — с цикловым управлением (без обратной связи); б — с управлением по контуру (с обратной связью)

Формы дискретных и непрерывных сигналов на выходе отдельных устройств даны в соответствующих прямоугольниках. На втором прямоугольнике видно, что электрогидравлический привод сглаживает периодические наводки.

Звено манипулятора равномерно поворачивается и точно воспроизводит заданную траекторию. Подача жидкости во все гидравлические приводы осуществляется от централизованного источника питания. Жидкость сливается из клапана под низким давлением в бак. Направление подачи жидкости и ее слив показаны на рисунке стрелками.

В системах управления роботами 2-го вида траектория манипулятора может быть описана несколькими способами, например в виде множества узловых точек, через которые должен проходить манипулятор, или в виде кривой, по которой осуществляется его движение. Управление роботом по первому способу принято называть позиционным, а управление по второму способу — контурным. Для уменьшения объема памяти в программах реализуется не кривая, а ломаная линия с заданным разбиением.

Структура замкнутой контурной системы управления, предназначенной для дуговой сварки изделий, показана на рис. 3.45 б.

Как видно на рисунке, робот обладает пятью степенями подвижности. МикроЭВМ 1 вырабатывает программы и выполняет процедуру сравнения дискретных команд с командами, снимаемыми с преобразователя вал-цифра второго звена.

Образующаяся разность дискретных сигналов поступает через цифроаналоговый преобразователь 2 на предварительный усилитель 3. На его выходе включено последовательное корректирующее устройство 4, создающее фазовое опережение сигнала на низких частотах, что повышает устойчивость работы замкнутой системы.

К выходу усилителя мощности 5 через резистор 6 подключен якорь электрического двигателя постоянного тока 7. Вал электродвигателя с помощью редуктора 8 поворачивает кодовый диск 10 и звено манипулятора 11.

Световой поток, проходящий через светлые концентрические участки диска, поступает на фотоэлементы 9. С них снимаются сигналы различной ширины, которые преобразуются устройством 15 в дискретные сигналы.

В результате в системе управления образуется главная отрицательная связь по положению. Для ограничений сигналов по скорости применен тахогенератор 12 с дополнительным усилителем 13, а для ограничений по ускорению — обратная связь по току.

Сигнал с резистора поступает в усилитель-преобразователь 14.

Изменение углов между звеньями манипулятора построено на рисунке в центре линиями. Они получены для случая перемещения сварочной горелки по прямой из точки.

Человек-оператор должен задать начальное и конечное положения горелки, а также допустимую скорость ее перемещения, гарантирующую требуемое качество шва. Затем вычисляются множества точек рабочих траекторий для звеньев. По значениям их координат формируются команды управления. На рисунке показано, что траектории звеньев являются кривыми.

В процессе сборки изделий приходится распознавать детали, учитывать изменения в их ориентации и осуществлять контроль правильности исполнения сборочных операций. Роботы 2-го и 3-го видов не способны решать указанные задачи.

Специалисты приступили к разработке новых типов роботов с искусственным интеллектом. Такие роботы относятся к 4-му виду. В них, наряду с типовым набором средств управления, имеются группы тактильных датчиков и приборов технического зрения. Введение дополнительных технических средств дает роботу возможность использовать модель окружающей среды. Теперь появилась необходимость применения нескольких микроЭВМ.

Отметим, что, даже преодолев все проблемы распознавания среды, роботы все равно не смогут заменить человека. Ибо человек способен быстро координировать свои действия и в любых ситуациях мгновенно принимать правильные решения. Почему же нельзя создать робота, полностью соответствующего человеку? Хотя бы потому, что самые лучшие из устройств восприятия изображений значительно уступают человеческому глазу и зрительному центру головного мозга.

Допустим, что нам удалось получить истинные изображения. Тогда появляется другая проблема распознавания, связанная с необходимостью переработки гигантских массивов информации. После ее решения возникает следующее затруднение: робот может принимать требуемое решение после моделирования огромного числа различных

ситуаций. Для того чтобы это осуществить с помощью обучения, потребуется много машинного времени.

Моделирование движений робота, подобного человеку, также сложно, поскольку математическая модель человека содержит миллионы различных уравнений. Составление и решение их при такой огромной размерности очень сложно.

Частичное решение перечисленных проблем обуславливается введением самообучения роботов. Каждому роботу не придется заново учиться самостоятельно, как человеку.

Можно отработать процедуру самообучения на одном роботе, а затем тиражировать ее в виде рабочих программ. Обученный робот способен выполнять любые технологические операции на производстве продолжительно и без ошибок.

Человек обладает неограниченными возможностями в непрерывном совершенствовании своих знаний, а робот пока заучивает преподаваемые ему уроки.

Одна из таких систем, используемая в составе аппаратуры сборочного робота «Пума», показана на рис. 3.46. В нее входят четыре основных устройства: робот — I, стойка силового питания электродвигателей - II, дисплей — III, управляющая микроЭВМ — IV. Робот обладает шестью степенями подвижности со следующими значениями углов поворота: поясной — 315° , плечевой 320° , локтевой - 285° , сгиба кисти — 240° , сустава — 535° и кистевого вращения — 515° . Справа на рисунке изображена структурная схема системы управления, состоящая из силовых усилителей робота — 1, преобразователей «вал-цифра» — 2, усилителей управления электроприводами — 3, устройства ввода-вывода - 4, внешнего устройства — 5, параллельного ввода-вывода — 6, последовательного ввода-вывода — 7, центрального процессора — 8, оперативной памяти — 9, гибких магнитных дисков—10, панели управления — 11, дисплея — 12.

Японские специалисты предложили другую структуру управляющей микроЭВМ. Она имеет временную рабочую область (стек), в которой производится соответствующая обработка данных для управления движением робота. Машина имеет адресную шину и шину данных. К шинам подключены 32-разрядный процессор, постоянное запоминающее устройство (ЗУ) и три оперативных ОЗУ, а также преобразователи «цифра-напряжение» и «вал-цифра».

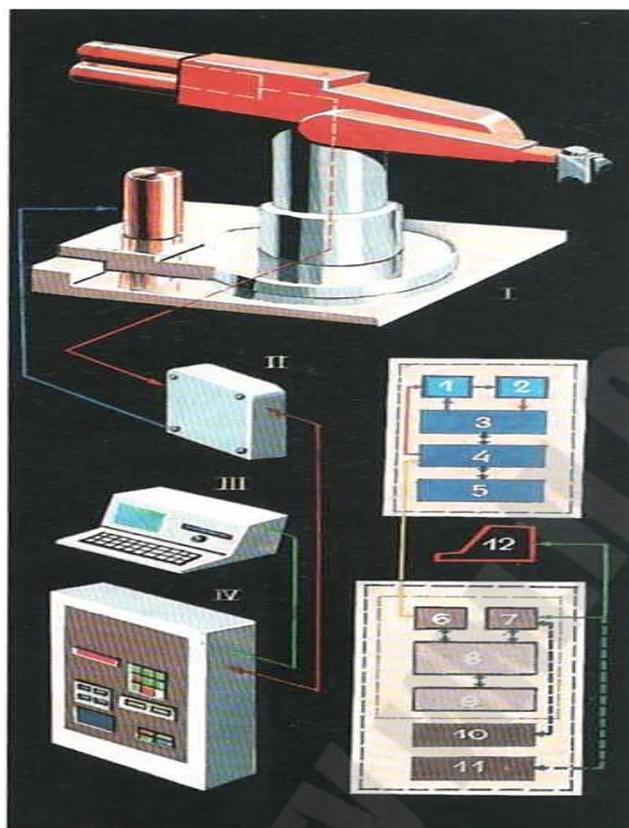


Рис. 3.46. Аппаратные средства управляющей ЭВМ сборочного робота «Пума»

Дешифратор, связанный с адресной шиной, получает сигналы от центрального процессора, которые посылаются в постоянное и оперативное запоминающие устройства.

Адресная шина позволяет центральному процессору различать подключенные периферийные устройства. Шина данных служит для обмена информацией центрального процессора с периферийными устройствами.

В микро ЭВМ имеется таймер, осуществляющий прерывание процесса через равные промежутки времени и тем самым переводящий непрерывные данные в дискретные сигналы. В случае прерывания работы процессора по необходимости введен дополнительный признак.

Центральный процессор выполняет операции, связанные с перемещением данных, реализацией арифметических операций и команд с указаниями для стеков. Все данные хранятся в одном постоянном и трех оперативных ЗУ. В случае отключения источников питания или отказов в процессоре и преобразователях, программы сохраняются в постоянной памяти, что упрощает повторный пуск

робота. В центральном процессоре имеется 256 адресов, а в каждом из устройств памяти — по 64 адреса.

Для управления памятью применена оригинальная схема подключения к одному из выходов интегральных схем (ИС). Если на выходе появляется код 111, то ИС подключает действующие адреса, а если код 101, то память отключена. Преобразователь «напряжение-цифра» переводит непрерывный сигнал в 32-разрядный цифровой. В случае преобразования углов поворота шарниров звеньев в цифру используются устройства «вал-цифра».

Японский специалист Касиока одним из первых разработал систему управления интеллектуальным промышленным роботом для сборки бытовых пылесосов (рис. 3.47).

Робот имеет два многозвенных манипулятора, каждый из которых обладает восемью степенями подвижности. Манипулятор 5 используется для перемещения тяжелых деталей, манипулятор 10 легких. На схвате манипулятора 5 размещено девятнадцать тактильных датчиков, на схвате манипулятора 10 — двадцать. В систему управления, кроме тактильных датчиков, входят восемь телекамер технического зрения, расположенных вокруг кольца 11. Семь из них 1, 4, 6, 7, 9 — неподвижные, а одна 8, размещенная в схвате, — подвижная. Сигналы с последней камеры снимаются с помощью волоконного световода. Три телекамеры 6, 7 и 9 служат для осмотра и управления. Остальные используются для обнаружения и распознавания деталей.

Информация, снимаемая с тактильных датчиков и телекамер, поступает на две микроЭВМ 14 и 17, которые выполняют анализ и переработку ее в реальном масштабе времени. Это позволяет роботу принимать решения и исполнять их в процессе сборки. Время обработки одного телевизионного кадра с изображением, определяемое частотой работы телекамеры, не превышает 1/60 с.

Управление электродвигателями осуществляется через усилитель мощности, расположенный в стойке питания 16 от микроЭВМ 14 и 17.

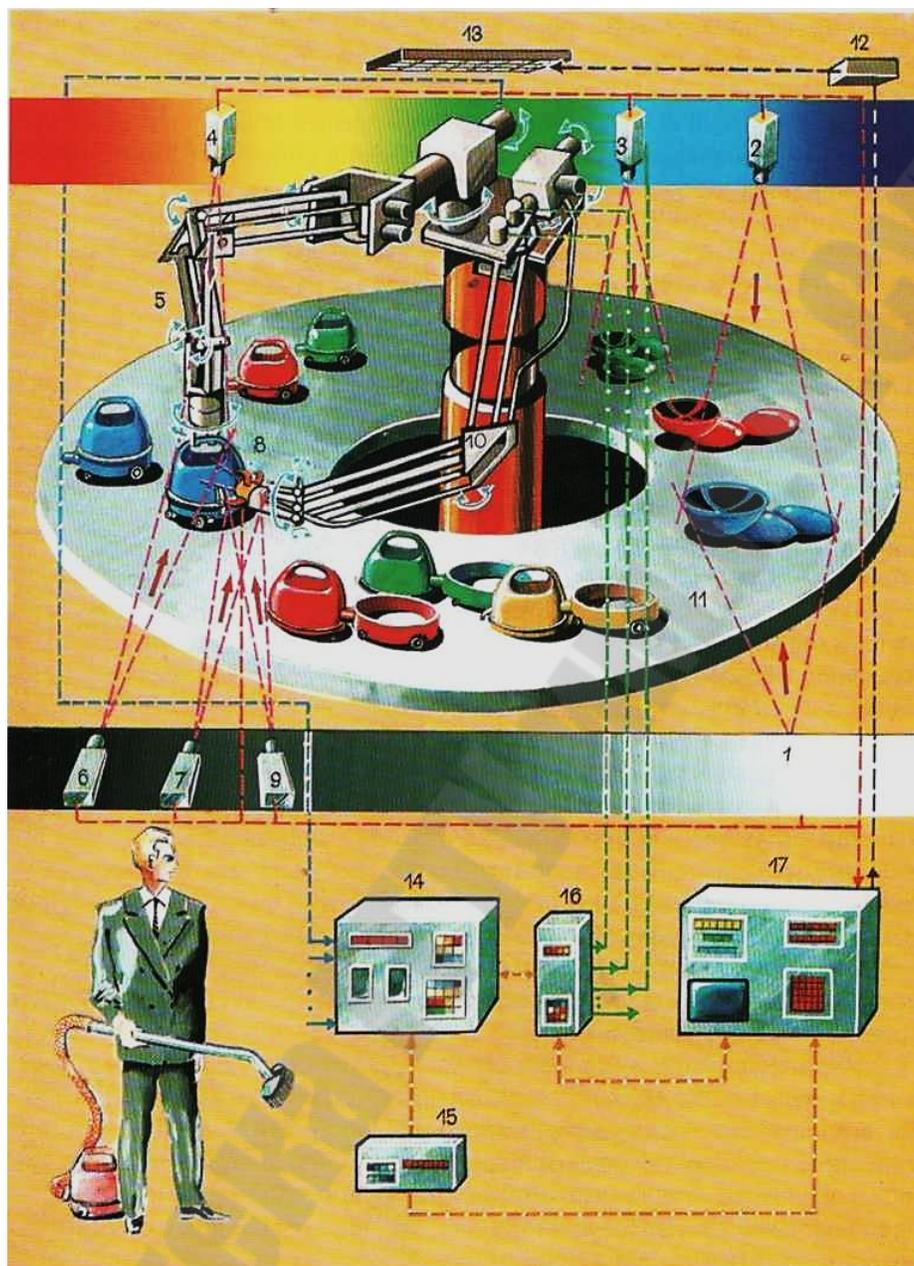


Рис. 3.47. Система управления интеллектуальным промышленным роботом для сборки пылесосов

Датчики схватов, телекамеры, усилители и микроЭВМ образуют многоконтурную систему с большим числом связей. Проходящие через них сигналы являются как аналоговыми, так и дискретными, поэтому для их подачи или съема имеются аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи.

МикроЭВМ 17 обеспечивает распознавание деталей пылесоса, окрашенных в различные цвета. При постоянной освещенности видимые

формы одинаковых деталей отличаются друг от друга из-за бликов, что затрудняет процесс распознавания. Для улучшения освещения имеется устройство 12, регулирующее источники света 13. После распознавания детали определяется ее ориентация и происходит сравнение с эталоном. При их совпадении начинается процесс слежения манипулятора за деталью и ее захват.

Деталь извлекается из разрозненной кучи и поступает на сборку пылесосов. МикроЭВМ 14 преобразовывает координаты и управляет действиями манипуляторов. Синхронизация одновременной работы вычислительных машин и их взаимодействие осуществляются прибором 15.

Другим *примером* является автоматическое распознавание деталей с хлопчатобумажными фильтрами при извлечении их из неупорядоченной кучи, представленные на рис. 3.48. Вид расположенных деталей, снятый передающей камерой, показан в кадре 1.

Аналого-цифровой преобразователь для обработки изображения одной детали использует 256×256 точек. Яркость изображения в каждой точке переводится в двоичный код с помощью регулируемого порогового значения, зависящего от средней освещенности помещения.

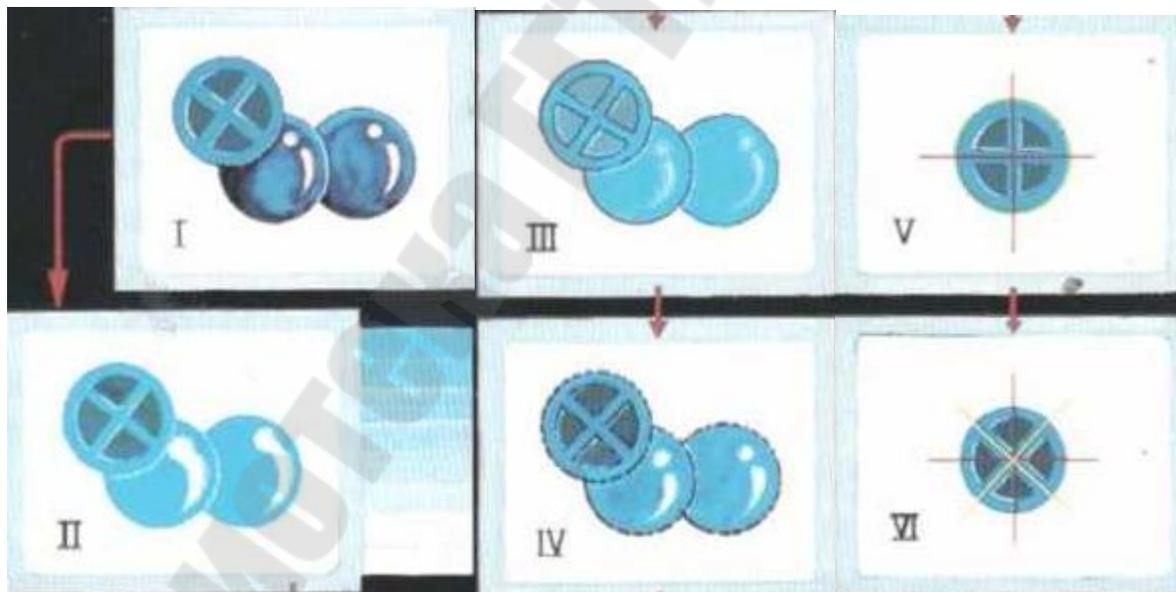


Рис. 3.48. Этапы распознавания роботом фильтра пылесоса при извлечении его из неупорядоченной кучи деталей: I — кадр на экране передающей камеры; II — изображение на ЭВМ; III — выделение контуров деталей по микроЭВМ; IV — сглаживание помех для увеличения четкости границ деталей; V — эталонное изображение детали, хранящееся в памяти микроЭВМ; VI — наложение детали на эталон

В кадре II изображен видеосигнал эталонного изображения после подбора освещенности. Если яркость отдельных элементов детали кодируется восемью двоичными разрядами, что соответствует 256 полутонам, то на весь кадр требуется 524 288 бит. Ввод и обработка такого информационного массива в реальном времени практически возможны с помощью волоконно-оптических каналов связи и быстродействующих микроЭВМ Касиока предложил операцию пространственного дифференцирования, выделяющую контур детали (кадр III).

Для уменьшения влияния помех после дифференцирования сигнал фильтруется (кадр IV). В результате граница детали становится более четкой. Затем для всех ее элементов выделяются участки изображения с резким перепадом яркости.

Таким образом, упрощается ориентация детали, которая представлена в кадре IV. В кадре V показан эталон. Изображение детали поворачивается и сравнивается с эталоном (кадр VI).

Совпадение их при наложении гарантирует правильность выбора детали, которая должна поступать на сборку. После этого манипулятор 10 начинает двигаться, следя за выбранной деталью, захватывает ее и устанавливает на корпус пылесоса.

Робототехническая система управления Касиоки является универсальным перестраиваемым технологическим комплексом с искусственным интеллектом, позволяющим производить сборку различных изделий. Роботы 4-го вида упрощают действия операторов и при наличии посторонних предметов в рабочей зоне автоматически обходят их или убирают.

3.6.5. Программирование промышленных роботов

Практически все фирмы производители робототехники разрабатывают собственные языки программирования и средства вспомогательного программного обеспечения.

Фирмы, непосредственно занимающиеся внедрением робототехники в производственные процессы (системные интеграторы), делают основной упор на вспомогательном программном обеспечении адаптированном к конкретным практическим условиям, разработкам

новых и модернизации старых технологий, внедрением измерительных систем, позволяющих повысить точность и качество производимой продукции.

Большинство промышленных роботов имеют комплексную программную оболочку, в которую по необходимости интегрируются разнообразные дополнительные модули расширений.

Так, *например*, существует возможность подключения модулей коммуникаций с внешними сенсорными устройствами: система видеонаблюдения, система замера прилагаемой нагрузки, вращающего момента, что дает возможность робототехнической системе реагировать на изменение внешних условий.

Довольно часто контроллер робота связан с программируемым логическим контроллером (ПЛК), который отвечает за взаимодействие робота и периферийного оборудования.

Различают два вида программирования промышленных роботов *Online-программирование* и *Offline-программирование*.

Как правило, при программировании робота используется оба вида. Существуют также различия относительно методов программирования, возможностей самих языков программирования и возможности роботов.

Online-программирование. Это программирование непосредственно на месте установки робота, с помощью самого робота. К данному способу относятся два метода Teach-In и Playback.

При *Teach-In* методе (сокращенно Teachen) движение робота в пространстве к заданному участку производится управляющей консолью (в виде джойстика или кнопок).

В большинстве случаев, в самом роботе (в 1-ю ось) заложена система координат, связанная в свою очередь посредством кинематической цепи с самой удаленной точкой робота (например, 6-й осью у 6-ти осевого робота). Таким образом, местоположение и ориентация всех осей и предполагаемого инструмента робота в пространстве всегда известны.

Достигнутое местоположение (пункт) запоминается контроллером робота, и выполняется до тех пор, пока робот не выполнит все требуемые операции. Совокупность таких пунктов, определяет траекторию самостоятельного движения робота. Каждый пункт имеет определенное количество изменяемых параметров, скорость движения и углового вращения, точность, конфигурацию осей.

Метод Playback. Робот посредством человека, вручную, обводится по траектории предполагаемого движения, которая в последствии в точности повторяется роботом. Этот метод часто применяется при программировании роботов для лакирования и покраски.

К недостаткам Online - программирования относится то, что во время программирования, не может быть речи о производственном процессе.

Такое программирование не обеспечивает высокой точности отработки и конечно не очень удобно для каких-либо изменений.

Рассмотрим особенности с тремя способами обучения (рис. 3.49). При обучении первым способом человек-оператор, как это показано на рис. 3.49 а, берет манипулятор с краскопультом в свои руки.

Перемещая вручную манипулятор и регулируя скорость разбрызгивания краски, он выполняет все процедуры окраски детали, добиваясь равномерности ее покрытия.

В памяти микроЭВМ записываются последовательности основных положений манипулятора с краскопультом. Иногда эту процедуру повторяют несколько раз до получения требуемого качества окраски.

При замене детали все приходится выполнять заново. Основной недостаток обучения первым способом заключается в том, что человек-оператор должен руками перемещать довольно громоздкий и тяжелый манипулятор и находиться в окрасочном помещении, вдыхая вредные для здоровья запахи краски.

Робот, функционирующий в режиме обучения вторым способом, изображен на рис. 3.49 б.

Человек-оператор берет в свои руки легкий обучающий манипулятор и, перемещая его в пространстве, окрашивает деталь. В память микроЭВМ записываются последовательности основных координат процесса окраски.

Затем оператор включает манипулятор окрасочного робота, который полностью воспроизводит все ранее отработанные процедуры. Легкий и гибкий манипулятор добивается высокого качества окраски при меньшем числе проходов. Обучение также вынуждает оператора периодически входить в окрасочное помещение.

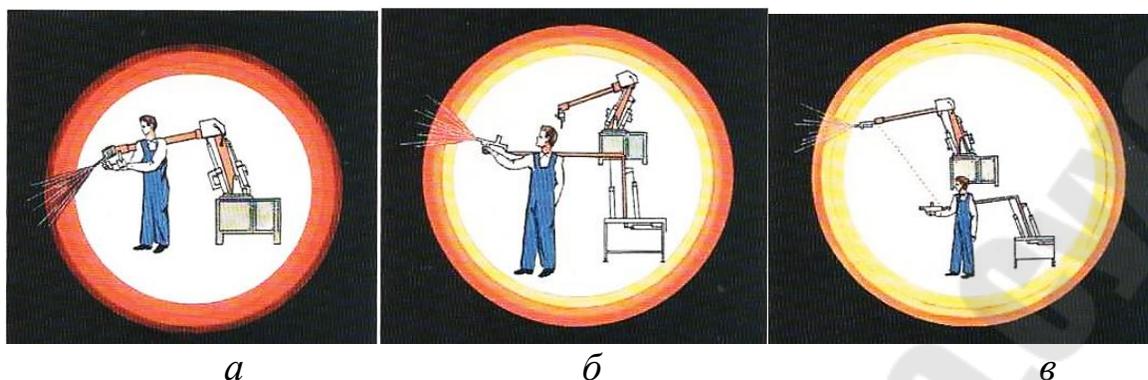


Рис. 3.49. Окрасочные роботы с тремя способами обучения

Рассмотрим работу робота при третьем способе обучения (рис. 3.48 в). В этом случае человек-оператор, не включая краскопульт, выполняет движения, необходимые для окраски. После включения краскопульта производится окраска.

Качество ее контролируется оптическим устройством. В памяти микроЭВМ записывается программа движения краскопульта. Преимущество такого метода обучения очевидно, так как оператор не находится в окрасочном помещении.

На рис. 3.49 в точками показано, что данная процедура является дистанционной с контролируемым режимом обучения.

Offline программирование. Данный вид программирования производится на обыкновенном компьютере; без непосредственного участия робота. Тем самым дает возможность программирования робота без остановки производственного процесса.

Текстовое программирование - это, по сути дела, написание логики программы (последовательность траекторий, опрос периферийных устройств, коммуникация с обслуживающим персоналом и конечно техника безопасности). Подготовленная таким образом программа загружается тем или иным способом (дискета или сетевое соединение) в контроллер робота, проходит тест на ошибки, программа корректируется и в принципе готова к использованию.

Речевое программирование. Речь человека вырабатывается в голосовом тракте и распространяется в виде волн избыточного давления. Волны создают звуки в достаточно широком частотном спектре.

Каждый человеческий голос характерен своими звуковыми параметрами. Одно и то же слово, произнесенное на русском языке взрослыми, живущими в различных областях страны, иностранцами и маленькими детьми, звучит по-разному. Однако же они в разговоре между собой сразу понимают друг друга.

В чем же причина?

Эта проблема была изучена специалистами по языкознанию сравнительно недавно. Они показали, что все слова состоят из нескольких десятков звонких и глухих типовых элементов (фонем), которые всегда узнает человек. Этому не мешают ни сбивчивая и нечеткая речь, ни большие ошибки в произношении, ни внешние шумы. Поэтому решение проблемы восприятия речи роботом заключается в *разделении речевых команд на сегменты* по параметрам (спектральным или временным), характеризующим определенные наборы звуков и пауз. По ним и производится *фонетический анализ*, и находятся фонемы. Автоматические устройства, распознающие фонемы, создаются весьма непросто.

На нескольких конкретных *примерах* покажем, что при подаче правильных речевых команд ошибки распознавания фонем роботом приводят к неправильным действиям. Для гласных:

УСТАНОВИТЬ ФЕРМУ!
УСТАНОВИТЬ ФУРМУ!

или согласных:

ПОДНЯТЬ ЛИСТ!
ПОДНЯТЬ ЛИФТ!

Следует сказать и о том, что произношение одной и той же фонемы в одном слове может меняться. При быстрой речи говорящего заглатывание отдельных фонем затрудняет ее понимание. Часто *опознавание фонем в слитной речи* требует знания не только самого слова, но и его смысловой связи с остальными членами предложения. Кроме этого, необходимо учитывать грамматические правила русского языка.

Сопоставим три речевые команды:

ПОВЕРНУТЬ ДВИГАТЕЛЬ
НЕ ОСТАНАВЛИВАЯ ВРАЩЕНИЕ ВАЛА!

НЕ ПОВЕРНУТЬ ДВИГАТЕЛЬ
ОСТАНАВЛИВАЯ ВРАЩЕНИЕ ВАЛА!

ОСТАНАВЛИВАЯ ВРАЩЕНИЕ ВАЛА НЕ ПОВЕРНУТЬ ДВИГАТЕЛЬ!

Только первая из них может использоваться, а остальные две лишены смысла. Грамматика русского языка в отличие от английского не имеет жестких ограничений на порядок расположения слов в предложениях. Иллюстрацией этого являются две фразы:

ПРОДВИНУТЬ ВПЕРЕД ПЛАТФОРМУ
ПО НАПРАВЛЯЮЩИМ!

ПРОДВИНУТЬ ПЛАТФОРМУ
ПО НАПРАВЛЯЮЩИМ ВПЕРЕД!

Следует обратить внимание на необходимость составления таких речевых команд, которые учитывают *последовательность действий*.

Например:

ПОВЕРНУТЬ РЫЧАГ НАПРАВО ДО УПОРА!
ПОВЕРНУТЬ ДО УПОРА НАПРАВО РЫЧАГ!

Выполнение роботом производственных операций с помощью первого предложения может вестись непосредственно в процессе передачи речевой команды, по второму предложению — только после ее окончания. Естественно, первая команда выполняется роботом быстрее.

В процессе распознавания речи необходимо каждый раз *проверять слово* на его соответствие *грамматическому правилу построения предложения*. Большое число слов и правил может приводить к правильному, но совершенно бессмысленному построению предложения. Подобные фразы в виде команд не должны поступать в систему управления роботом. В таком случае применяют *просодическую разметку* предложения и используют методы смыслового анализа речи.

Под *просодической разметкой* предложения понимаются способы построения в зависимости от интонаций, расстановки пауз и ударений, меняющих смысловое содержание.

Покажем различные способы просодической разметки для выделения основного содержания предложения. Допустим, робот получает команды:

ЗАКРЕПИТЬ ДЕТАЛЬ НА ПРИСПОСОБЛЕНИИ И ПОДАТЬ
СО СТАНКА ЖИДКОСТЬ, ОХЛАЖДАЮЩУЮ ЕЕ!

или

ЗАКРЕПИТЬ ДЕТАЛЬ НА ПРИСПОСОБЛЕНИИ И ОХЛАЖДАЮЩУЮ ЕЕ ЖИДКОСТЬ ПОДАТЬ ДЛЯ СТАНКА!

Выделение запятой вспомогательных членов в первом предложении обеспечивает исполнение роботом команды, не нарушающей нормальный режим работы станка. Реализация роботом второй команды может привести к поломке режущего инструмента и разрушению обрабатываемой детали.

При переносе логического ударения меняется смысл предложения:

СДЕЛАТЬ ДЕТАЛЬ УЖЕ ПОЗДНО.

СДЕЛАТЬ ДЕТАЛЬ УЖЕ ПОЗДНО.

В зависимости от поставленной задачи человек, получивший одновременно эти два указания, сразу оценивает их смысл и принимает к исполнению только одно указание. Гораздо сложнее решает задачу автоматический распознаватель речи.

Если робот не обладает техническим зрением, то он не видит производственный процесс. Для выполнения команды ему необходимы *дополнительные пояснения*, например такие:

СДЕЛАТЬ ДЕТАЛЬ УЖЕ ПОЗДНО. РАБОТА ЗАКОНЧЕНА.

СДЕЛАТЬ ДЕТАЛЬ УЖЕ ПОЗДНО. ОНА ЗАБРАКОВАНА.

В виде шутки приведем пример интонационной разметки предложений, полученной путем сравнения двух вопросительных форм.

Первая:

ЧТО РОБОТ ВИДИТ ВНУТРИ РЕАКТОРА —
ТАМ ОСТАВЛЕН ЛИСТОК?

Это предложение имеет непрерывную вопросительную форму с падающей высотой тона.

Вторая:

ЧТО РОБОТ ВИДИТ ВНУТРИ РЕАКТОРА?
ТАМ ОСТАНОВЛЕН ЛИ СТОК?

Этот вопрос задается с прерывающейся структурой и поднимающейся высотой тона за счет второй фразы. При быстром произношении этих фраз человек понимает их одинаково, не чувствуя изменений в расстановке слов. Если оба предложения записать на бумаге, то они будут различны по своему виду и смысловому содержанию.

Рассмотрим *принцип работы* и схему построения автоматического распознавателя речи робота, обслуживающего склад крупногабаритных

деталей (рис. 3.50). Человек, работающий на складе, речевыми командами управляет погрузочно-разгрузочным роботом.

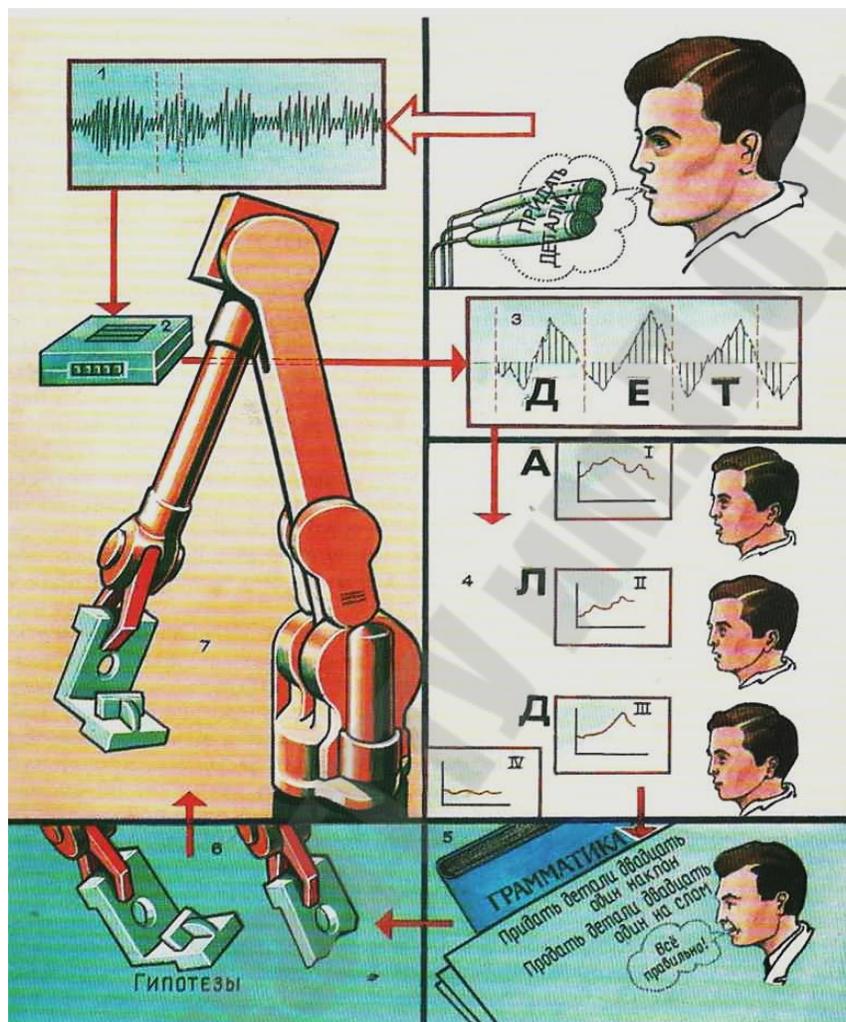


Рис. 3.50. Распознаватель речевых сообщений для управления роботом

Допустим, что деталь под номером 21 должна быть подана на транспортер, имеющий ограничение по высоте и загружающий контейнер. Для этого необходимо подать команду:

ПРИДАТЬ ДЕТАЛИ ДВАДЦАТЬ ОДИН НА(К)ЛО(Н)!

Здесь круглыми скобками выделены буквы, изменение которых совершенно меняет смысл команд.

При произнесении команды звуки достигают микрофонов, установленных на стенах склада. На выходе образуется непрерывное напряжение 1, которое полностью характеризует речевые сигналы. Переменное

напряжение при помощи аналого-цифрового преобразователя 2 переводится в *дискретную форму* и записывается в память микроЭВМ 3.

По соответствующим алгоритмам производится выделение сигналов путем *разделения на сегменты* по наиболее четко выделенным параметрам. (Выделение сегментов показано в блоке 1 тонкими пунктирными линиями.) В качестве *параметров* обычно берутся *спектральные характеристики* звуков: гласных, придыхательных, взрывных, звонких и некоторых согласных, а также пауз. В блоке 4 приведены спектральные характеристики для гласного звука — I, придыхательного согласного — II, взрывного согласного — III, паузы — IV. *Сравнение* этой информации с подобного рода *шаблонами*, находящимися в памяти микроЭВМ, дает *фонетический анализ* речевых сигналов.

Необходимо указать, что разделение речевого сигнала на сегменты представляет собой сложную задачу, требующую глубоких знаний фонологии русского языка, звуковой и интонационной фонетики. (*Фонология* - специальный раздел лингвистики, посвященный анализу и построению звуковых сигналов).

При разделении сигнала на сегменты возможны ошибки, когда два или несколько сегментов сгруппированы в один или один сегмент расщеплен на части. Поэтому иногда на микроЭВМ приходится выполнять повторную сегментацию. Для *уменьшения числа ошибок* при разделениях пользуются *контекстами*, хранимыми в микроЭВМ.

Пусть после фонетического анализа была получена команда
ПР(О)ДАТЬ ДЕТАЛИ ДВАДЦАТЬ ОДИН НА (С)ЛОМ!

Для определения, какая же из двух команд правильна, проводится *грамматическая проверка* на микроЭВМ, которая выделяет правильно сформированные последовательности слов, устанавливает структуры предложений, определяет подлежащее и сказуемое, подчиненность отдельных частей фраз, взаимосвязь между ними. Если предложение удовлетворяет всем требованиям грамматического разбора, то оно принимается, в противном случае предложение отвергается.

В блоке 5 производится *грамматический и интонационный анализ* предложений. Для понимания разговорной речи используют различные гипотезы о построении фраз и их целевом назначении. После многократного сравнения гипотез выделяется речь, удовлетворяющая всем видам анализа: фонетическому, грамматическому, просодическому и прагмати-

ческому. (*Прагматический анализ* речи заключается в понимании смысла фраз.)

С целью упрощения изложения о способах выбора достоверной гипотезы, воспользуемся лишь двумя указаниями *о целевом назначении* робота: первое — недопустимость поломки деталей, второе создание условий для их погрузки. По указаниям сформируем достоверную гипотезу в блоке 6, где и принимается решение, что команда верна и подлежит исполнению роботом 7.

ПРИДАТЬ ДЕТАЛИ ДВАДЦАТЬ ОДИН НАКЛОН!

При управлении роботами с помощью разговорной речи необходимо пользоваться *упрощенным техническим языком* с четкой логикой построения фраз. Записанные речевые программы в микроЭВМ могут управлять роботом без участия человека, и повторять их можно столько раз, сколько требует технологический процесс.

Возрастание объемов перерабатываемой информации привело к тому, что вместо однопроцессорных микроЭВМ стали применяться многопроцессорные машины. Для повышения скорости распознавания в реальном времени создаются матричные процессоры, которые выделяют границы объектов при поступлении на них информации с приборов технического зрения и выполняют сравнение распознанных объектов с эталонными объектами по многим признакам с высокой точностью.

Ведущие компании-производители вычислительной техники за последние несколько лет приступили к значительному наращиванию темпов выпуска гигантских партий новых микроконтроллеров и суперскалярных микропроцессоров, обладающих номинальной скоростью 1 млрд.оп.с.

Широкое распространение получили системы, объединяющие значительное число контроллеров, связанных с периферийными устройствами.

При управлении производством в такой системе выделяется ведущий контроллер, а остальные — ведомые. Сигналы синхронизации задаются ведущим контроллером. Подобного рода системы намного дешевле многопроцессорных и достаточно просты в отладке и эксплуатации.

В автоматизированных системах управления производством с большим числом роботов используются платы-носители. Из таких плат можно быстро собрать любой степени сложности систему для выполнения различных производственных операций. Однако при этом необходимо

иметь в виду, что возможный переход на выпуск новой продукции не должен приводить к полной замене существующей вычислительной системы.

Рассмотрим *способы составления рабочих программ*. Начнем с описания наиболее простой программы вставки втулки в отверстие пластины на языке манипулятора (рис. 3.51 а). Она состоит из последовательности команд, каждая из которых указывает величину и направление перемещения схвата. Перед ее выполнением по операциям, указанным на рисунке, определяются микроЭВМ, где они преобразуются в значения координат, заносимые в величины углов между звеньями. После этого программа принимает рабочую форму и может неоднократно выполняться.

Другой подход не требует ни знаний микроЭВМ, ни навыков общения с роботами. Технологи пишут задание роботу на объектном языке.

По своему содержанию оно близко к набору отдельных технологических операций и не содержит информации о перемещениях манипулятора А. На рис. 3.51 а видно, что втулку В нужно переместить и вставить в отверстие пластины. До написания рабочей программы каждая технологическая операция исследуется на микроЭВМ.

Несмотря на кажущуюся простоту такого подхода, реализация программы роботом затруднена из-за необходимости применения искусственного интеллекта.

На первоначальном этапе использования микроЭВМ в роботах программы составлялись в кодах команд машины. Программист должен был не только располагать данными о действиях манипулятора и схвата, но и знать структуру вычислительной машины. Эти программы были громоздкими и требовали тщательной отладки. С целью упрощения программного обеспечения начали применять алгоритмические языки, которые широко использовались на универсальных ЭВМ. Одним из первых был Ассемблер, близкий к кодам машины. Однако этот язык требовал нового транслятора для каждой микроЭВМ, обладающей своим набором команд.

Одновременно с универсальными алгоритмическими языками стали разрабатывать специализированные. В фирме «Юнимейшен» был предложен для робота «Пума» довольно простой язык ВАЛ, работающий в диалоговом режиме. На рис. 3.51 б показан пример

программы на этом языке. Она состоит из трех подпрограмм: рабочей программы, программ обучения и исполнения.

В Стэнфордском университете (США) был создан более сложный, специальный язык АЛ, состоящий из двух подпрограмм: описаний зоны обслуживания и зоны сборки изделий.



1. Перевести сжат в точку А, находящуюся на расстоянии 50 мм от точки В.
2. Опустить сжат в точку В.
3. Сжать пальцы сжата.
4. Поднять сжат на 50 мм над точкой В.
5. Перенести сжат в точку С, находящуюся над точкой D на расстоянии 50 мм.
6. Опустить сжат в точку D.
7. Раскрыть пальцы сжата.
8. Поднять сжат на 50 мм над точкой D.
9. Перенести сжат в исходное положение.

а

Рабочая EDIT DEMO1	Провести редактирование программы с именем DEMO1.
1. OPEN	Раскрыть пальцы сжата и перейти к следующему шагу программы.
2. APPRO PICK, 50	Перенести сжат в точку, находящуюся над точкой PICK на высоте 50 мм.
3. SPEED 30	Выполнить один следующий шаг программы со скоростью, составляющей 30% от нормальной.
4. MOVE PICK:	Опустить сжат в точку PICK(?) - точечную позицию сжата присвоить PICK.
5. CLOSE I	Сжать пальцы сжата и перейти к следующему шагу программы.
6. DEPART 70	Поднять сжат на 70 мм над точкой PICK.
7. APPRO PLACE, 70	Перенести сжат по предопределенной траектории в точку, находящуюся над точкой PLACE на расстоянии 70 мм.
8. SPEED 20	Выполнить один следующий шаг программы со скоростью, составляющей 20% от нормальной.
9. MOVE PLACE	Опустить сжат в точку PLACE.
10. OPEN I	Раскрыть пальцы сжата и перейти к следующему шагу программы.
11. DEPART 50	Поднять сжат на 50 мм над точкой PLACE.
12. E	Конец. Выйти из режима редактирования.
Обучение HERE PLACE	Текущему положению сжата присвоить имя PLACE.
X/JY1Y/JY2Z/JY3...	Индикатор на экране дисплея координат текущего положения сжата.
225.68 618.84-131.94	
CHANGE	
Исполнение SPEED 30	В режиме обучения и отладки программы уменьшать скорость до 30% от нормальной.
EXEC DEMO 1,3	Выполнить программу DEMO 1-3 раза.
SPEED 100	В рабочем режиме установить нормальную скорость.
EXEC-10	Перейти к безостановочному выполнению программы (При задании повторов отрицательным числом робот повторяет программу столько же раз до сигнала прерывания).

б

Рис. 3.51. Программы для управляющих ЭВМ сборочных роботов:
а — на языке уровня манипулятора; б — на специализированном языке в диалоговом режиме

Операция сборки допускается при условии, что робот располагает информацией о положении всех деталей в зоне обслуживания. В предложенном языке используется форма описания детали, имеющая определенный содержательный смысл (фрейм) (Фрейм — модель представления знаний об объекте).

Иногда фрейм сопоставляется отдельным элементам детали. Тогда он позволяет вычислять координаты любой точки детали по мере выполнения сборочных операций.

В программе учитываются заданные начальные состояния деталей в зоне обслуживания. МикроЭВМ вычисляет позиции звеньев и схватов для всех технологических операций в виде узловых точек траекторий движения схватов с деталями, исключая возможные столкновения. В результате вырабатываются последовательности управляющих сигналов на приводы. При обходах препятствий в зоне обслуживания вычисленная ранее траектория заменяется новой. Язык АЛ учитывает взаимодействие двух манипуляторов.

В настоящее время применяются языки высокого уровня: ЛИСП, ПЛАННЕР и ПРОЛОГ или их модификации, удобные для управления роботами.

4. ОТ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА К БЕЗЛЮДНЫМ ПРЕДПРИЯТИЯМ

4.1. Разработка САПР

Одним из основных направлений автоматизации производственных процессов является создание систем автоматизированного проектирования, конструирования и технологической подготовки (САПР).

Автоматизированное проектирование начинается с изучения технических условий на изделие. Проектировщик с помощью методов синтеза на ЭВМ составляет оптимальный проект. На графическом дисплее вычерчивается чертеж объекта в пространстве (изометрии или перспективе), на котором инженер проставляет размеры с допусками и определяет возможность его размещения в конструкции. Одновременно определяются требуемые величины зазоров.

По трехмерному изображению строятся проекции объекта с выбором необходимых сечений. В чертежи заносятся данные, по которым инженер-технолог составляет технологическую карту изготовления объекта на существующем оборудовании. По технологическим картам на ЭВМ создаются чертежи необходимой оснастки и выбираются типы режущих и измерительных инструментов.

При использовании малых локальных систем, состоящих из трех взаимосвязанных микроЭВМ, все рассмотренные процедуры могут выполняться тремя инженерами: проектировщиком, конструктором и технологом.

Большим достоинством автоматизированного проектирования и конструирования является возможность вращения объекта и получения различного рода пространственных изображений, а также выбора шести проекций и необходимых сечений. Спроектированный объект заносится в базу данных при наличии классификатора с соответствующим кодированием.

Конструктор быстро отыскивает чертежи ранее разработанных объектов и пользуется ими при изменении размеров или отдельных элементов в конструкциях. Автоматизация конструирования сокращает сроки выпуска документации и упрощает внесение изменений в чертежи, повышает качество их изготовления. Весьма важной является стандарти-

зация процедур конструирования и использование различных цветов и полутонов для наглядного представления объектов в пространстве.

Для автоматизации технологической подготовки производства составляются программы работы станков с числовым программным управлением и роботизированных комплексов, учитывающие планирование производства и контроль. В настоящее время вместо чертежной документации в ЭВМ вводятся сигналы для управления изготовлением деталей, сборкой узлов и машин, что упрощает ввод в постоянную эксплуатацию гибких автоматизированных производств и безлюдных предприятий.

Рассмотрим состав аппаратных средств системы, обеспечивающей работу поточной линии для изготовления деталей вида 12—15 (рис. 4.1). В нее входит рабочее место инженера 1 с управляющей ЭВМ 2 и графопостроителем 3. Дискета 4 является носителем информации чертежной документации. Сигналы с вычислительной машины поступают через стойку 8 для управления приводами фрезерного станка 7, робота 6 и двух транспортеров 5 и 9.

Инженер на рабочей станции с помощью электронного планшета не только управляет курсором, формирующим изображение на экране дисплея, но и световым пером изменяет отдельные части детали и при необходимости выделяет их в увеличенном масштабе. Алфавитно-цифровая клавиатура применяется для расчетных работ, связанных с определением прочности, износа и других характеристик. На рисунке позицией 10 выделена готовая деталь, вычерченная в изометрии, и три ее проекции 11. Как видно, наиболее полную информацию о детали дает изометрическое изображение, а не проекции. Поэтому выполнять автоматизированное проектирование следует в пространстве. Плоские чертежи используются для контроля, передачи заказчику и хранения.

Системы программного обеспечения САПР представлены в нескольких видах. Наибольшее распространение получили графическая, каркасная и объектная системы.

Графическая система содержит набор отдельных геометрических элементов. По запросу пользователя собирается чертеж изделия, на котором задаются размеры и положение каждого элемента. Часто элементы группируются в отдельные блоки, например нормали, шарикоподшипники, валы, шестерни и другие типовые устройства.

Метод проектирования является двумерным, и инженер по проекциям сам восстанавливает трехмерную форму изделия.

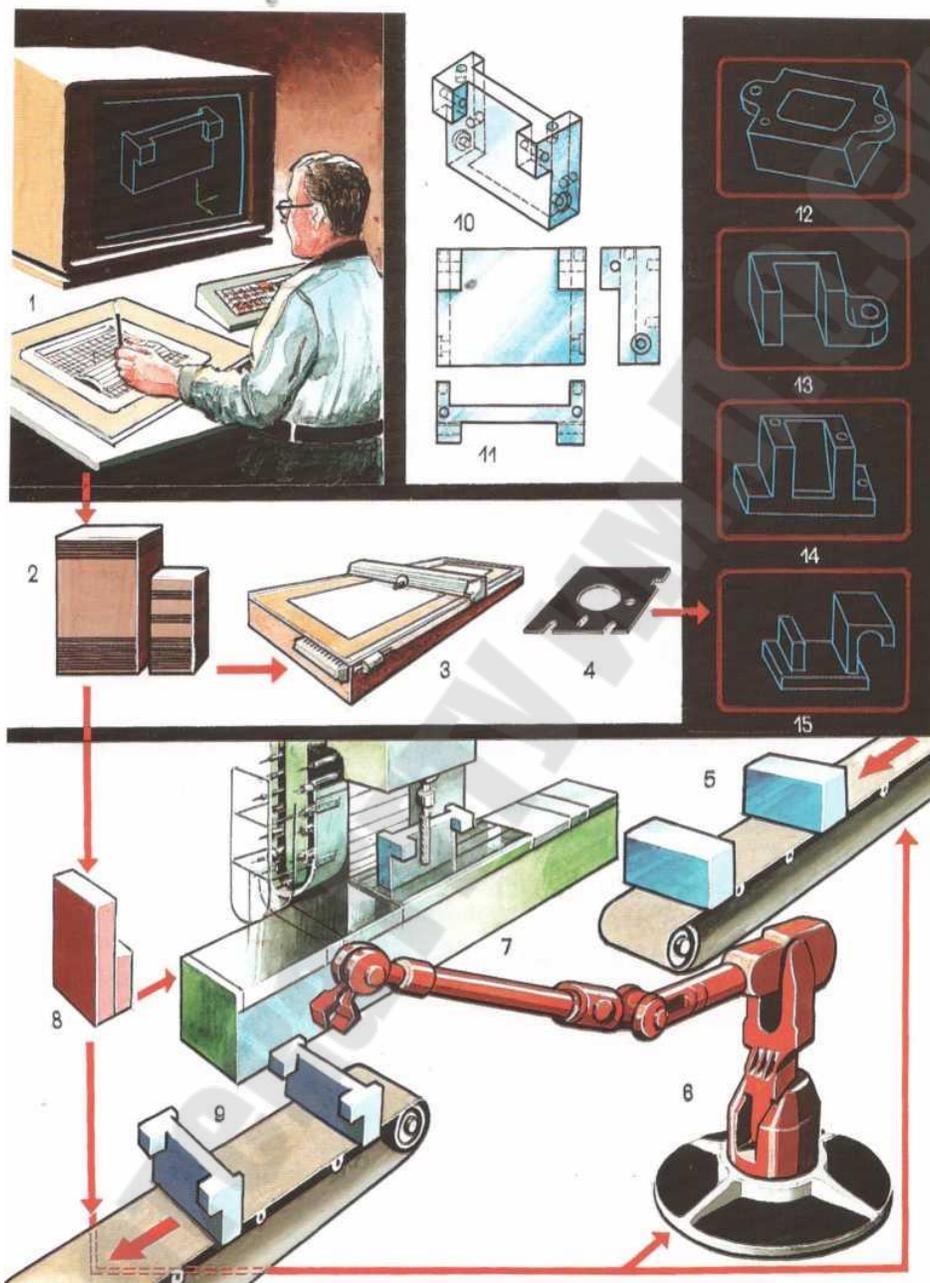


Рис. 4.1. Система автоматизированного проектирования, конструирования, технологической подготовки и автоматизации производства

Программные средства состоят из трех подпрограмм: графики, прикладной программы и базы данных. Центральной является прикладная программа, управляющая загрузкой и базой данных. Инженер с помощью планшета взаимодействует с графическим дисплеем. База данных

содержит математические, числовые и логические модели, а также буквенно-цифровые сведения о свойствах материалов различных химических составов. Содержимое базы данных выводится на экран или на печать.

Каркасное и объектное моделирование выполняется в трехмерном пространстве.

При каркасном моделировании пользователь все ребра изделия рисует линиями. Внутренние ребра приходится удалять, что иногда является очень трудоемким процессом. Основным недостатком этого метода состоит в том, что не всегда удается определить внутренние поверхности изделия.

Объектное моделирование обладает большими возможностями. Существуют три основных варианта подобного моделирования. При первом варианте конструкция собирается на ЭВМ из отдельных объемных элементов, при втором пользователь рисует пером на планшете контуры изделия с разных положений (спереди, сбоку и сверху), указывая линии связей между ними для получения полного взаимного соответствия.

Оба эти подхода имеют свои достоинства и недостатки, поэтому их стали применять вместе. В результате существенно сократилось время на выпуск чертежей с объемными изображениями.

Третий вариант использует при конструировании аналитические способы описания пространственных изображений элементов и применяет многомерные аппроксимации.

Прошло не более 30 лет, и с помощью САПР удалось объединить в едином цикле все проектно-конструкторские работы, технологическую подготовку, автоматизацию производства для изготовления деталей и сборки изделий. В связи с этим повысился технический уровень специалистов различных специальностей и улучшилась организация экономической деятельности предприятий.

Современные системы автоматизированного проектирования представляют собой наборы пакетов программ (модулей), функционирующих в сети, состоящей из суперЭВМ и рабочих станций. Базы данных находятся в ЭВМ и дополнительных запоминающих устройствах с большими объемами памяти.

Все модули разделяются на базовые и вспомогательные. Базовые модули являются основными и несут информацию о геометрических моделях, генерации программ для технологической подготовки

производства, автоматизации управления станками и сборкой. Для расширения возможностей пользователей базовые модули дополняются вспомогательными модулями, создающими наилучшую конфигурацию программного обеспечения и упрощающими процедуры конкретного проектирования. В настоящее время с помощью САПР достаточно быстро выбираются наилучшие компоновки автомобилей, ракет, самолетов и других сложных изделий, на проектирование которых традиционными методами затрачивалось в 4—5 раз больше времени.

Проиллюстрируем возможности САПР на примере проектирования концерном «Боинг» нового реактивного лайнера В-777. В конструкторском бюро в Сиэтле было установлено восемь суперЭВМ, связанных сетью с 2200 рабочими станциями. Проектирование самолета выполнялось с помощью автоматизированной системы «Катия», разработанной во Франции и проданной фирмой ИБМ концерну «Боинг». САПР состояла из базовых и вспомогательных модулей с графическим интерфейсом, обеспечивающим высокий уровень взаимодействия при коллективной работе пользователей.

Система «Катия» могла не только строить на экранах дисплеев в трехмерном пространстве чертежи отдельных частей самолета, но и выполнять необходимый инженерный анализ, разрабатывать технологию и организовывать систему наилучшего управления производством. При таком подходе полностью исключалось изготовление полномасштабного макета самолета с установкой кресел, различного оборудования, прокладкой трубопроводов, электрических жгутов и приводов. Теперь на большом экране в автоматизированном режиме собирался самолет из отдельных частей и устройств, полученных ранее на вычислительных машинах.

Большим достоинством системы является то, что одновременно с проектированием инженеры-технологи могут составлять технологические карты и чертежи для изготовления оснастки, а также ступеней для сборки различных частей и всего самолета в целом.

Полученные на экранах отдельные конструкции после их утверждения руководителями проекта сразу же запускались на изготовление. Система «Катия» существенно сократила сроки изготовления и уменьшила количество доработок самолета перед выпуском его на летные испытания.

Применение сети ЭВМ и САПР изменили структуру концерна «Боинг». Вместо ранее существующих самостоятельных отделов, проектирующих различные части самолета, сотрудники которых много времени тратили на согласование чертежно-конструкторской документации, был создан единый коллектив инженеров-конструкторов, инженеров-технологов, инженеров-экономистов, общающихся друг с другом через вычислительную сеть. В результате они быстро обменивались чертежами, а также прочей документацией и сразу же принимали согласованные решения по сложным проблемам проектирования, технологической подготовки производства, выбору материалов и составляли экономические обоснования для покупателей самолетов.

В США большие коллективы системных программистов разработали новые САПР. К ним можно отнести системы «И-Деас», «И/Емс», «Проинженир», «Юниграфикс» и некоторые другие, получившие широкое применение в различных отраслях промышленности.

Наименования десяти фирм — разработчиков САПР или обладающих правом их продажи, приведены на рис. 4.2. справа.

Оценка качества САПР выполнялась независимо работающими экспертами, использующими десятичную систему счисления по 12 основным характеристикам:

1. Графические возможности.
2. Воспроизведение визуального изображения.
3. Поддержка процесса проектирования.
4. Взаимодействие с графическим интерфейсом.
5. Объемы баз данных.
6. Управление работой сети.
7. Возможности инженерного анализа.
8. Поддержка в проблемных приложениях.
9. Технологическая подготовка производства.
10. Автоматизация управления станками и оборудованием.
11. Дальнейшее развитие системы.
12. Возможности расширения областей применения в различных отраслях промышленности.

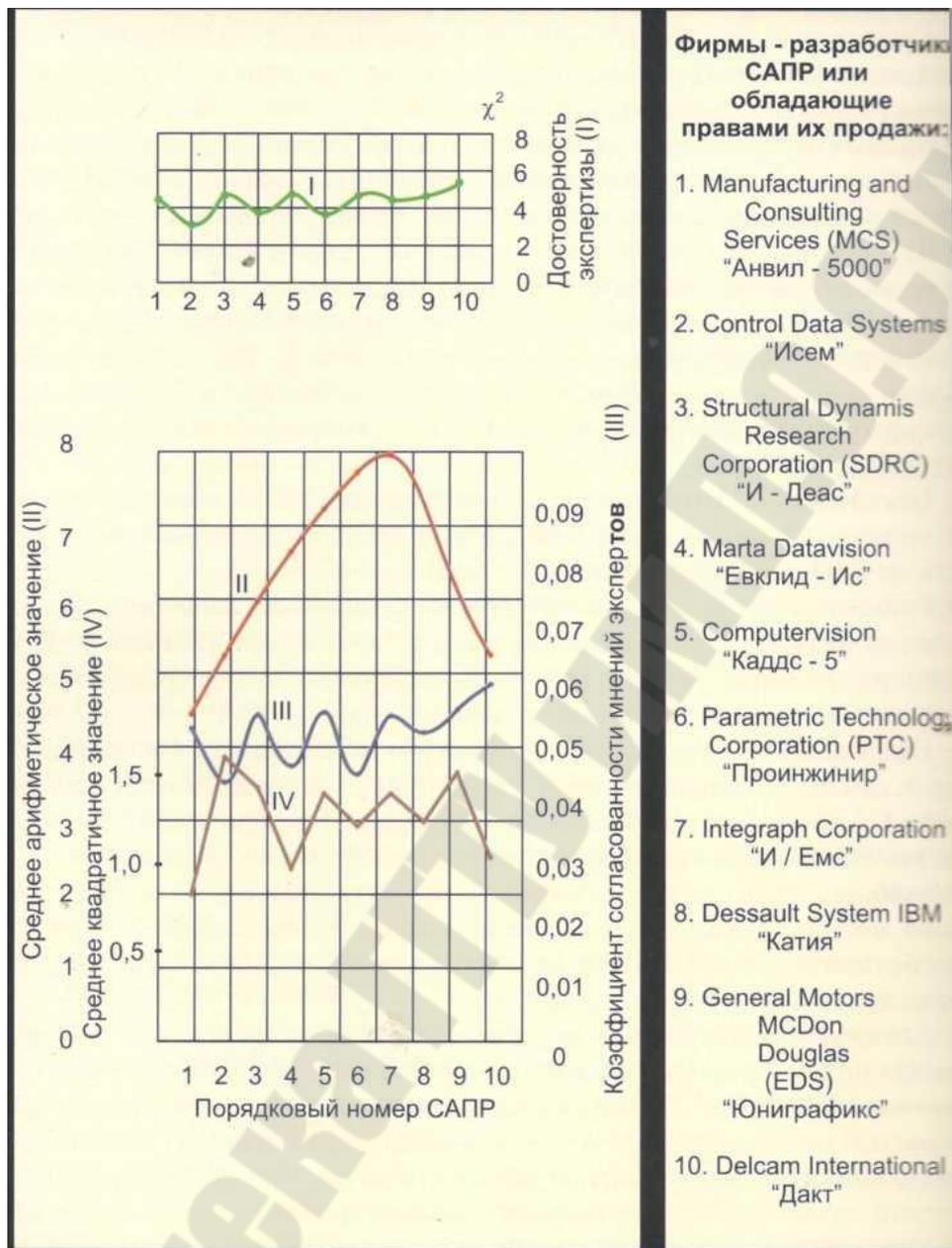


Рис. 4.2. Статистические оценки наиболее часто применяемых в промышленности САПР после обработки данных, полученных десятью независимо работающими экспертами: справа — фирмы, разрабатывающие САПР или обладающие прав их продажи; слева — кривые оценок

Результаты вычислений, обработанных статистическими методами, даны на рис. 4.2. слева. Здесь ось абсцисс размечена цифрами, соответствующими каждой из САПР.

На нижней оси ординат приведены значения средних арифметических (кривая II) и средних квадратических (кривая IV) оценок систем. На верхней оси ординат указаны коэффициенты согласованности мнений экспертов (кривая III) и достоверности результатов экспертизы, выполненной по Колмогорову—Фишеру по значениям (кривая I). По полученным величинам χ^2 с помощью таблиц плотности вероятности с p степенями свободы находятся вероятности достоверности экспертизы для всех САПР P от 0,92 до 0,96.

При этом было принято, что коэффициенты согласованности мнений экспертов считались высокими, когда их значения изменялись в пределах от 0,04 до 0,06; средними при 0,02—0,04 и низкими, когда значения были меньше 0,02.

На рис. 4.2 видно, что наиболее высокими показателями качества обладают системы «Каддс-5», «Катия». «И/Емс» и «Проинжинир», которые без существенных изменений будут применяться в промышленности многих стран.

На рис. 4.3 показаны вид кузова и установка роботами передних и задних колес на поточной линии.

Кузов разрабатывается с применением САПР, при этом учитываются аэродинамика, прочность конструкции, величина углов открытия дверей для посадки пассажиров, размещение наиболее часто возимых вещей в багажнике, обеспечение широкого обзора местности водителем в передней и задней полусферах и т. д.

По разработанной САПР технологии осуществляется автоматизированная сборка автомобиля.

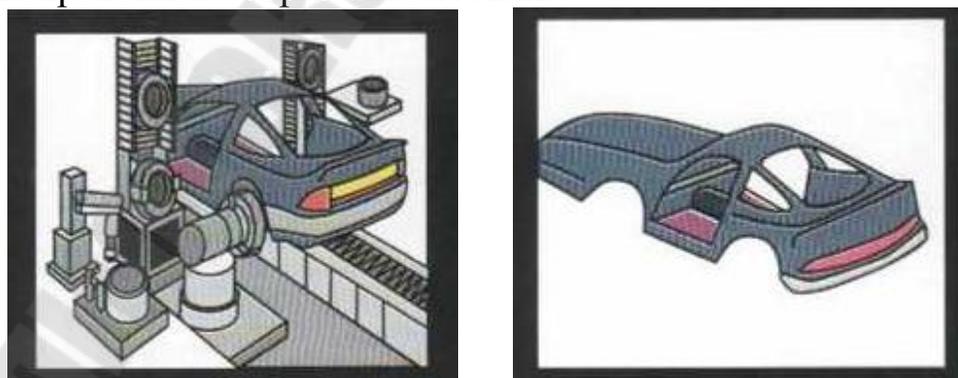


Рис. 4.3. 3D модели автомобиля

Автоматизированное проектирование, конструирование и технологическая подготовка производства привели к созданию гибких производственных систем (ГПС), выпускающих продукцию небольшими сериями при частой смене номенклатуры.

4.2. Роль роботов в автоматизированном производстве

Современные ГПС состоят из металлообрабатывающих, сборочных и транспортных модулей. Координацию их действий осуществляет центральная ЭВМ, которая рассчитывает суточный план выпуска объектов, определяет состав и количество заготовок, наборы необходимой оснастки и инструментов. Обычно все обрабатывающие и сборочные модули взаимно независимы, поэтому путем их замера перестраивают производство на выпуск новых объектов.

В цехах, где осуществляется механическая обработка, первый модуль производит загрузку заготовками входного накопителя. На пример, используется 3D сканер + ПО Photoneo — техническое (машинное) зрение в трехмерном пространстве для автоматизации распознавания объектов с целью дальнейшей сортировки (решение bin picking), перекладки, загрузки станков, нахождения оптимального пути подачи робота-сортировщика на контейнер и предотвращение столкновения с какими-либо объектами и других подобных задач. Погрешность: от 25 мкм; измерительный объем: 2,4 м x 1,8 м x 2,2 м (рис. 4.4). Затем заготовка устанавливается на станок и выбирается режим резания. После обработки проводится автоматический контроль качества выполняемых операций, и заготовка поступает на второй модуль.

Например, используется 3-D лазерный измерительный сканер. При этом реализуется процесс координатно-измерительных машин на базе промышленных роботов для контроля качества в автоматическом режиме (в режиме реального времени) (рис. 4.5). Существуют автоматизированные станции в стандартном исполнении, позволяющие минимизировать время.



Рис. 4.4. Роботизированная сортировка изделий

Далее деталь передается на следующие модули до окончания всех процедур обработки. Готовый объект поступает на склад.

С целью исключения поломки роботов, станков и другого оборудования каждый модуль снабжен датчиками контроля. Кроме того, диспетчер следит за работой системы с помощью телевизионных камер.

Например, на рис. 4.6 приведено автоматизированное измерение сварочного кондуктора автомобильной промышленности с целью дальнейшей проверки и регулировки в режиме реального времени, выставления базовых элементов в номинальное положение. На рис. 4.6 а представлена система базовых элементов приспособления, которые автоматически регулируются для базирования и закрепления различных деталей.

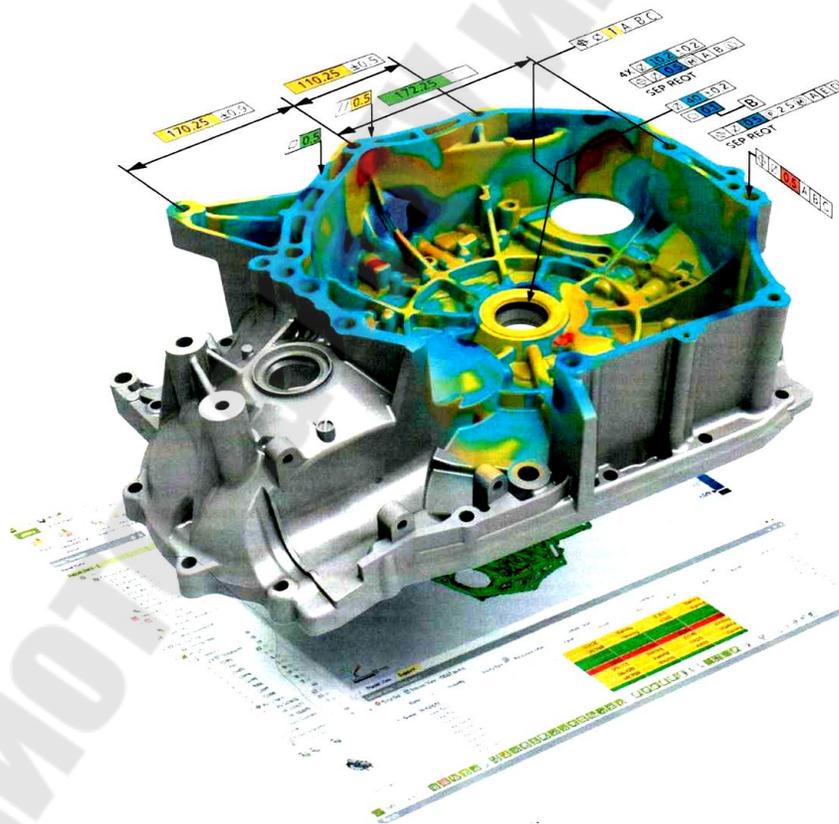
Работы выполнялись с помощью лазерного трекера Leica AT 402 с выносным щупом для труднодоступных точек В-Probe.

В случае отказа он принимает решение о включении нового модуля без остановки производства. В противном случае вызываются рабочие для ремонта.

В таких производствах наряду с высокой степенью автоматизации целого ряда технологических операций используется ручной труд.



a

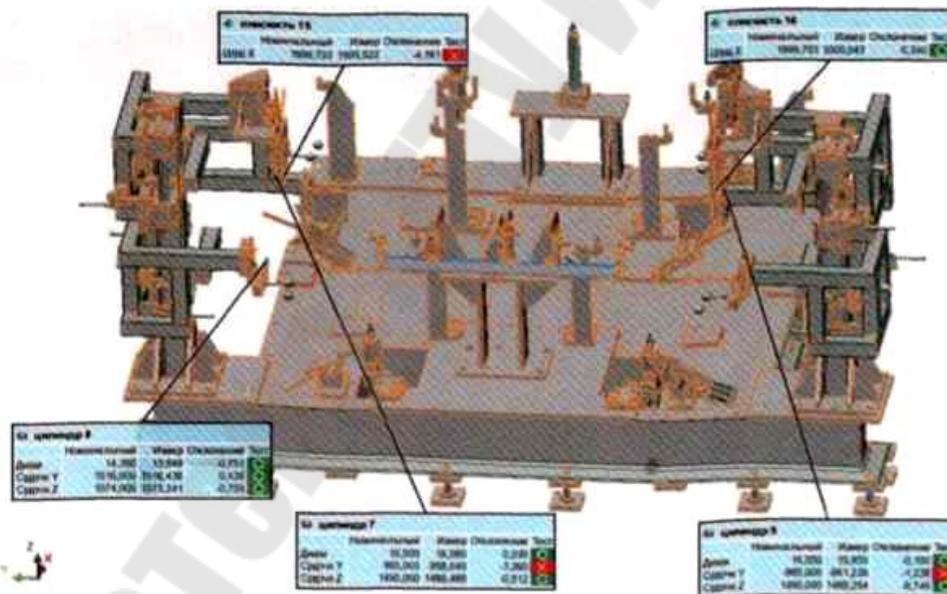


б

Рис. 4.5. Роботизированный контроль изделий:
а – робот оснащенный лазерным сканером; б – результаты измерения детали



а



б

Рис. 4.6. Роботизированный контроль приспособления (а) и его результат (б)

Рассмотрим поточное изготовление легковых автомобилей с применением нескольких ГПС (рис. 4.7). На рисунке сверху показана гибкая система подачи деталей и сборки роботами передней полуоси.

Аналогичная система используется для изготовления задней полуоси. Обе полуоси в большом масштабе выделены на рисунке в правом верхнем углу красными прямоугольниками. Снизу на рис. 4.7 представлен процесс установки рабочими основных частей корпуса автомобиля в стапель, который подается на сварку, выполняемую роботами.

Далее рабочие прикрепляют недостающие детали и осуществляют контроль качества изготовления.

В качестве примера, на рис. 4.8 приведена автоматизированная станция по 100% контролю качества геометрии на основе лазерного 3D сканирования, установленная на сварочном конвейере для проверки в режиме реального времени элементов кузова автомобиля.

Готовый корпус поступает в отсек, где роботы окрашивают его. Затем робот устанавливает двигатель. Далее производится монтаж ходовой части и установка приборной доски, кресел и бамперов.

Применение ГПС в промышленности изменило облик современных заводов. В цехах появились автоматизированные склады, помещения для изготовления оснастки и размещения режущего и измерительного инструментов.

А вот как одной из японских фирм удалось упростить вновь созданную ГПС.

Фирма «Ямадзаки», разрабатывающая вторую поточную линию гибкого производства для сборки коробок передач автомобилей, разложила на бейсбольном поле объекты и инструменты. При тщательном осмотре всех предметов инженеры смогли подобрать более совершенные технологические процедуры и сократить число инструментов с 600 до 63. Таким образом было проведено натурное моделирование.

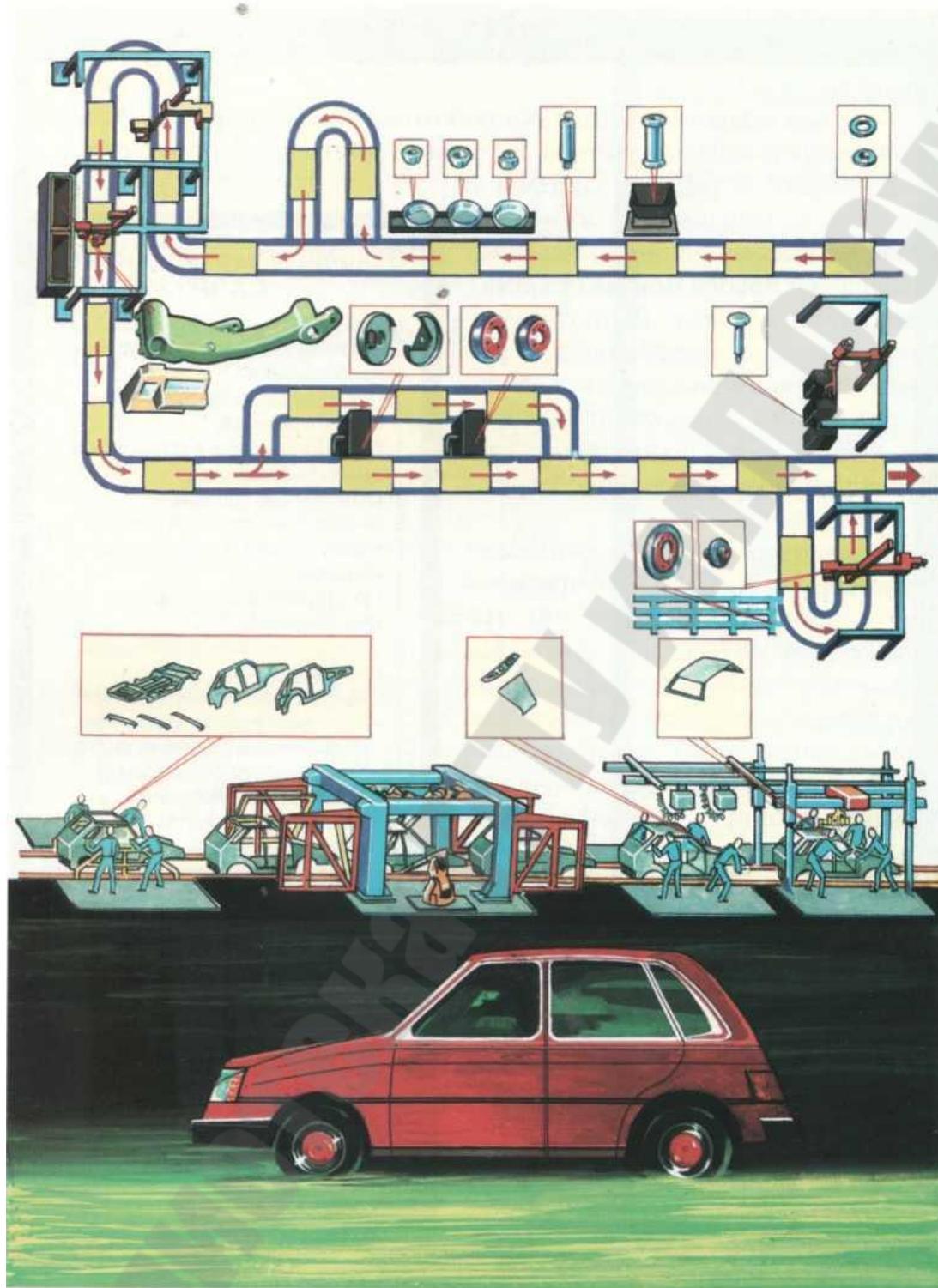
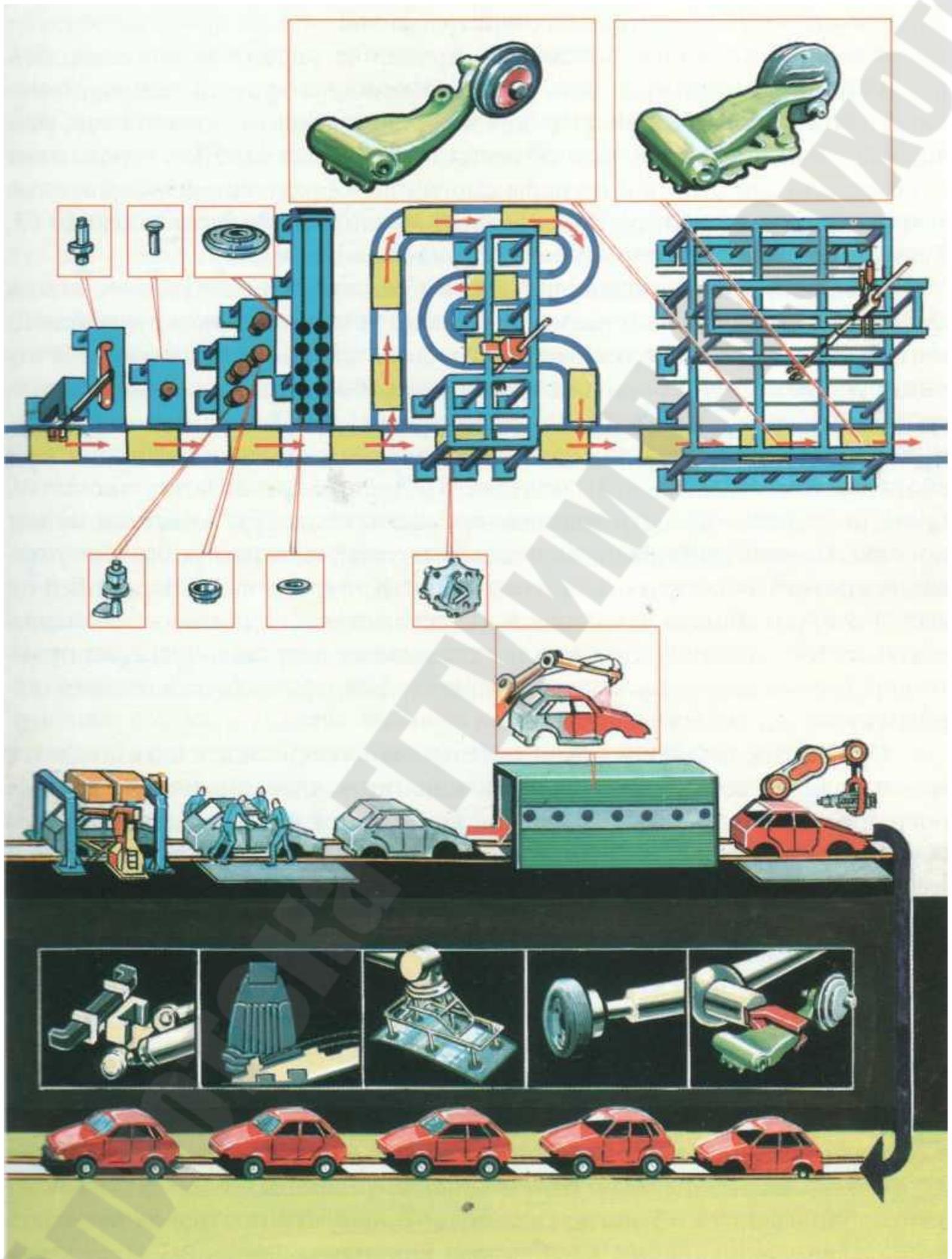


Рис. 4.7. Два участка гибкой производственной системы сверху — для изготовления отдельной детали ходовой части; снизу — для сборки автомобиля



Продолжение рис. 4.7



Рис. 4.8. Роботизированный контроль кузова автомобиля

Специалистов, посещающих автомобильный завод «Тойта», всегда поражает исключительно высокий уровень автоматизации крупносерийного производства, к которому и относится автомобилестроение. В огромном помещении сборочного цеха, где размещается главный конвейер, установлены сотни надежно работающих роботов самых совершенных конструкций, одновременно выполняющих тысячи операций при сборке автомобилей разных моделей. Подобная организация процессов привела к необходимости размещения вдоль конвейера участков малых поточных линий, собирающих отдельные узлы, которые роботами устанавливаются на собираемых автомобилях.

Контроль наличия деталей на всех поточных линиях и на конвейере осуществляется с помощью видеосистемы. Как только число деталей становится недостаточным, на пункте управления вырабатываются команды грейдерам, доставляющим необходимые детали на рабочие места.

Самым впечатляющим для посетителей сборочного цеха является малое количество рабочих, выполняющих незначительное число ручных операций на конвейере. Управление конвейером и поточными линиями осуществляется с главного пульта цеха через локальную сеть, состоящую из суперЭВМ, связанной с большим количеством компьютеров. Инженеры обмениваются информацией и принимают соответствующие решения. Например, в случае поломки инструмента

или отказа работа конвейер останавливается и за короткое время производится замена. После чего конвейер снова запускается.

Другие японские автомобильные фирмы «Ниссен», «Хонда», «Мазда» и «Мицубиси мотор» также построили свои заводы в Западной Европе. В 1998 г. на них было выпущено свыше 1,7 миллионов автомобилей.

Был создан единый рынок Европейского сообщества, затрудняющий продажу зарубежных автомобилей. В этих условиях японские фирмы снизили технологическую себестоимость своих машин в два раза: так, на изготовление одной наиболее распространенной модели японского автомобиля затрачивается 16 часов, а на изготовление ее западноевропейского аналога — 36 часов, что повлекло за собой значительное снижение цен. Тем самым японские автомобилестроители прочно укрепили свои позиции на рынках Европы.

Специалисты, работающие на автоматизированных автомобильных заводах, стали уделять больше внимания разработке программ, основой которых является использование искусственного интеллекта. Однако внедрение их в производство проходит крайне медленно из-за того, что основа построения программ определяется формализацией базы данных и теорией принятия решений, еще не достигших возможностей человеческого мышления. Системы управления с искусственным интеллектом оказались не приспособленными к процедурам изготовления деталей.

Более весомые результаты в применении таких систем достигнуты при сборке сложных узлов и автомобилей в целом. Они позволили осуществить быструю целенаправленную перестройку режимов работы роботов, сократить время простоя конвейеров и поточных линий. Кроме этого, их стали использовать при контроле за состоянием станков, роботов и поточных линий, так как при этом приходилось работать со сбором и переработкой больших массивов информации.

На успехи, достигнутые при создании систем управления с искусственным интеллектом, снова обращает внимание МВТП, выделяя на эти работы еще большие средства. С 1993 г. университеты и крупные фирмы увеличили объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Японские предприятия, собирающие телевизоры, имеют по несколько поточных линий гибкого производства. На одном из них

установлено шесть линий, которые обслуживают 240 человек. Сборка каждого телевизора производится за 20 с, а общее число выпускаемых телевизоров достигает 1,5 млн. в год. Заменяв часть оборудования и введя в постоянную эксплуатацию только две поточные линии, удалось увеличить выпуск телевизоров до двух миллионов и существенно уменьшить число людей на заводе. Таких результатов нельзя добиться при жесткой автоматизации производства, так как, например, введение новых устройств в телевизор требует изменения процесса сборки. Пришлось бы для каждой конструкции телевизора иметь свою поточную линию, что привело бы к снижению экономической эффективности.

Гибкие системы имеют большие преимущества по сравнению с жесткими. Они обладают высоким коэффициентом использования оборудования (до 100%) и дают низкую себестоимость выпускаемой продукции.

Таким образом, сокращается различие между роботом и человеком на производстве. Кроме того, промышленные роботы могут выполнять технологические операции, ранее недоступные для человека.

Роботизация производства, обеспечивая высокую производительность труда и колоссальные прибыли, приводит к освобождению рабочей силы. При этом требуется умелое руководство для уменьшения отрицательных социальных последствий и исключения страха перед безработицей. На самом деле ГПС несет в себе огромные потенциальные возможности для стимулирования экономического развития и обеспечения полной занятости трудовых ресурсов.

По мере появления все более совершенных роботов отпадает необходимость в использовании большого количества вспомогательного оборудования. Меняется облик промышленных предприятий. На роботизированных заводах возникают проблемы безопасности труда и взаимодействия робота и человека. Наиболее перспективным направлением в преодолении всех трудностей на пути развития ГПС является создание малолюдных предприятий.

Общий вид малолюдного предприятия, выпускающего электрические двигатели с блоками транзисторного управления, показан на рис. 4.9.

Грузовой автомобиль привозит заготовки и материалы. Робот выполняет разгрузку и раскладку их в установленной

последовательности для переноски на роботокары, отправляющиеся к автоматическим складам.

Крупногабаритные заготовки с одного склада перевозятся роботокарами с лазерным управлением в машинный зал к двум станкам, которые обслуживаются одним роботом.

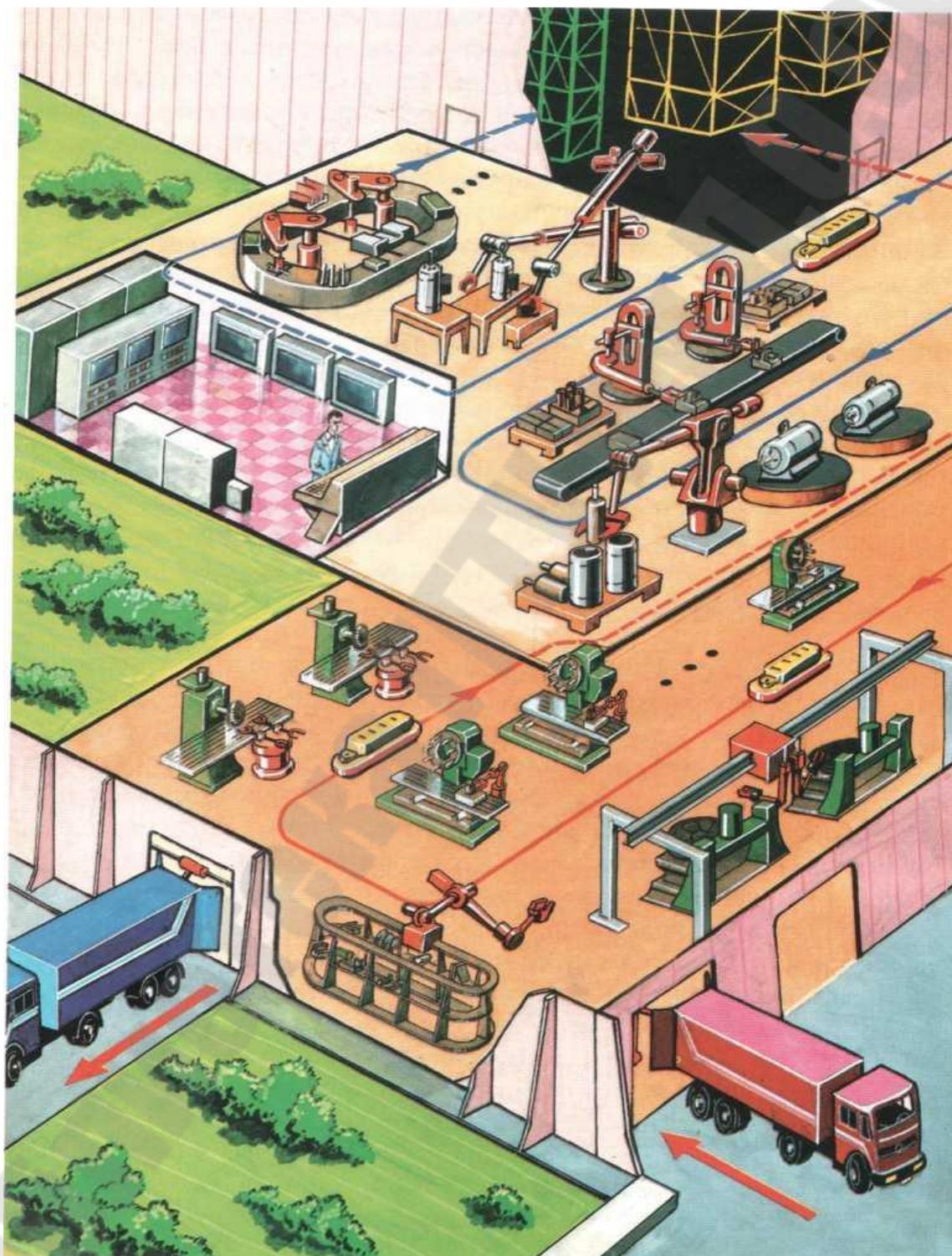


Рис. 4.9. Малолюдное предприятие

Он перемещается по горизонтальному двутавру, поднятому на двух стойках. После обработки на станках корпус двигателя поступает на управляющие центры с магазинами, рассчитанными на большое количество режущих инструментов.

В малом цеховом складе хранятся режущие и измерительные инструменты. Они с помощью робота загружаются в роботокары, которые подъезжают к фрезерным станкам, расположенным в центре машинного зала справа и слева от линии движения транспортных средств.

Каждый из станков снабжен аппаратурой акустической проверки износа режущего инструмента. В изготовленный корпус запрессовывается статор с обмоткой, а в его крышки шарикоподшипники. (Данные операции не удалось разместить на рисунке.) По направлению стрелки роботокары подвозят эти устройства к роботам, которые выполняют сборку двигателей. На транспортер поступают мелкие детали корпуса транзисторных усилителей и их внутренние обоймы. Сборка самих транзисторных усилителей выполняется на кольцевом столе двумя роботами (см. рис. 4.9. сверху). Транзисторные блоки подаются двумя роботами для прикрепления к электродвигателям.

Затем готовые изделия роботокарой перевозятся на автоматизированный склад. Направления движений роботокар показаны стрелками. Внизу изображена загрузка готовых электродвигателей с усилителями на грузовой автомобиль для перевозки заказчиком.

Центральная ЭВМ и несколько микроЭВМ размещены в вычислительном отсеке. Здесь же установлены дисплеи и пульт управления. Запуск или перестройка малолюдного предприятия осуществляются человеком.

Малолюдное производство основано на использовании нескольких ГПС, связанных в единый комплекс. Создание его выполняется в три основных этапа.

На первом этапе с помощью теории массового обслуживания, моделированием, определяются характеристики потоков перемещения деталей, узлов и готовых изделий.

На втором этапе отлаживаются рабочие программы, и проверяется работоспособность каждой из поточных линий отдельно.

И, наконец, на третьем этапе весь комплекс вводится в рабочее состояние.

Современная промышленность располагает еще малым количеством малолюдных предприятий.

Определенных успехов в создании малолюдных заводов добилась Япония благодаря значительной финансовой поддержке, которую оказывают крупным заинтересованным фирмам. В США и странах Западной Европы в настоящее время также работают подобные предприятия. Внедрение высокоразвитых производств значительно увеличит темпы экономического развития государств. Быстрая смена выпускаемых изделий увеличивает количество рабочих мест и расширяет сферу обслуживания.

Применение во втором десятилетии XXI в. только основных элементов искусственного интеллекта в суперЭВМ, рабочих станциях, микрокомпьютерах, объединенных единой сетью, позволит намного повысить качество управления станками, роботами, складами, транспортными устройствами, поточными линиями и полностью освободит человека от участия в процессах изготовления сложных изделий.

Роботы, наделенные интеллектуальными способностями, обеспечат бесперебойную работу производства в аварийных ситуациях. При авариях робот, расположенный рядом с вышедшим из строя роботом, возьмет на себя исполнение всех его операций без останова поточных линий. После выполнения ремонта робота или его замены автоматическим способом производство будет работать в ранее заданном режиме.

Посетители, незнакомые с особенностями работы завода, не заметят произошедшей аварии и ее устранения, так как на это будет затрачено не более 10 секунд, а с главной поточной линии все время непрерывно будут сходиться готовые изделия. Переход на выпуск новой продукции в подобных производствах всегда выполняется автоматически по разработанным вычислительным программам.

Такие малолюдные предприятия смогут выпускать автомобили, самолеты, небольшие корабли и другие сложные конструкции. Однако на подобных предприятиях наряду с обычными многозвенными роботами с различными типами схватов, обслуживающими поточные линии и конвейеры, потребуются новые виды роботов, обладающих высокой степенью подвижности, способностью перемещаться и умением принимать любые решения при нарушении технологических режимов или выходе из строя целых производственных участков.

Для этого создаются роботы двух различных типов.

Первый — в облике человека, обладающий практически полностью его двигательными способностями и возможностью перемещаться в любых направлениях.

Второй в виде змееподобного существа со сверхвысокой степенью подвижности. Оба типа роботов будут снабжены высококачественными техническими средствами видения для осмотра в широком диапазоне углов, вычислительными машинами, обрабатывающими визуальную информацию и принимающими решения об исправлении самими роботами поломок на производстве. Эти роботы пока находятся в стадии разработки.

Совершенно очевидно, что страна, которая сумеет ввести в постоянную эксплуатацию наибольшее число малолюдных предприятий, займет первое место по выпуску готовой продукции на душу населения и станет самым могущественным государством в мире.

5 ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОВ

5.1. Беспилотные космические летательные аппараты

В конце XIX в. благодаря крупнейшим достижениям в науке и технике человечество от фантазий о космических полетах перешло к их реальному осуществлению. Первые основополагающие работы о ракетах и космосе появились в России. Учитель математики Константин Эдуардович Циолковский внес начальный вклад в науку о космических путешествиях.

У истоков создания ракетной техники стоял американский ученый Роберт Годдард. В шестнадцать лет он окончил Вустерский политехнический институт, в котором талантливую юношу оставили преподавать физику. Там он приступил к разработке первой ракеты с жидкостным реактивным двигателем, которую испытывал в вакуумной камере. Тем самым он показал, что ракета может летать не только в атмосфере, где тяга якобы возникает из-за отталкивания истекающих газов от воздуха, но и в безвоздушном пространстве, так как тяга есть реакция, противоположная силе истечения газов. Эксперименты с двигателем в атмосфере показали, что воздух замедляет истечение газов и уменьшает тягу.

В 1921 г. сконструированный им жидкостный реактивный двигатель успешно работал на кислородно-эфирном топливе. В 1926 г. его ракета вертикально достигла высоты 12,5 м.

В 1925 г. немецкий инженер Иоганнес Винклер провел испытания двигателей для ракет на жидком (спирт-кислород), а затем твердом топливе.

С 1933 г. Германия начала интенсивно готовиться к войне и выделила крупные ассигнования на разработку ракетных двигателей для самолетов военно-воздушных сил и баллистических ракет. В 1932—33 гг. под руководством и при непосредственном участии Вернера фон Брауна разработано несколько типов ракет. Наибольшую известность получила ракета А-4 (Фау-2), принятая на вооружение немецкой армией. За десять лет изготовлено около тысячи таких ракет, которые в 1944 г. обстреливали Лондон.

В 1937 г. на Балтийском побережье, на островах Уздэм построен огромный научно-исследовательский центр по испытаниям двигателей и ракет, оснащенный самым современным оборудованием.

Руководство центром возлагалось на фон Брауна, который проектировал и испытывал ракеты А-3—А-10.

В 1945 г. в Пенемюнде фон Браун с группой ведущих специалистов сдался в плен американским войскам. С этого же года он приступил к созданию стратегических ракет для военного ведомства США и ракеты-носителя «Юпитер-С» для вывода первого спутника. Фон Брауну поручили разрабатывать мощные ракеты-носители «Сатурн-1» и «Сатурн-5». В 1972 г. он покинул Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства и перешел работать в промышленность.

Советский Союз также активно включился в разработку ракет. Их проектирование поручается талантливому конструктору и выдающемуся организатору космической промышленности Сергею Павловичу Королеву. Военное ведомство поручает РНИИ спроектировать малые ракеты на твердом топливе для самолетов, а затем наземные установки «Катюша». В 1939 г. они успешно применялись в военных действиях на Халхин-Голе и во время Второй мировой войны.

В 1957 г. на базе баллистической ракеты Р-7 в конструкторском бюро Королева создается ракета-носитель А-1. На ней в том же году выведен на орбиту первый искусственный спутник Земли с массой 83,6 кг.

Затем в США на серийные ракеты решили навешивать твердотопливные ускорители. Так появились ракеты-носители серий «Дельта» и «Титан», способные выводить на орбиты не только спутники связи и метеорологии, но и космические межпланетные летательные аппараты. В 1962 г. запускаются спутники связи «Телестар», «Синком» и «Интелсат», осуществившие переворот в телевизионной связи.

В Советском Союзе запущена система спутников «Молния». Спутники располагались на сильно вытянутых эллиптических орбитах с апогеями над северным полушарием, что обеспечивало передачу цветного изображения над огромной территорией. Затем на геостационарные орбиты с высотой 35880 км были выведены спутники «Экран» и «Горизонт». Они зависали над определенной местностью и находились в рабочем состоянии до десяти лет.

На рис. 5.1, позиция I, показана спутниковая система связи «Экран», транслировавшая цветные и черно-белые телевизионные изображения на площади 9 000 000 км². На рисунке видно, что

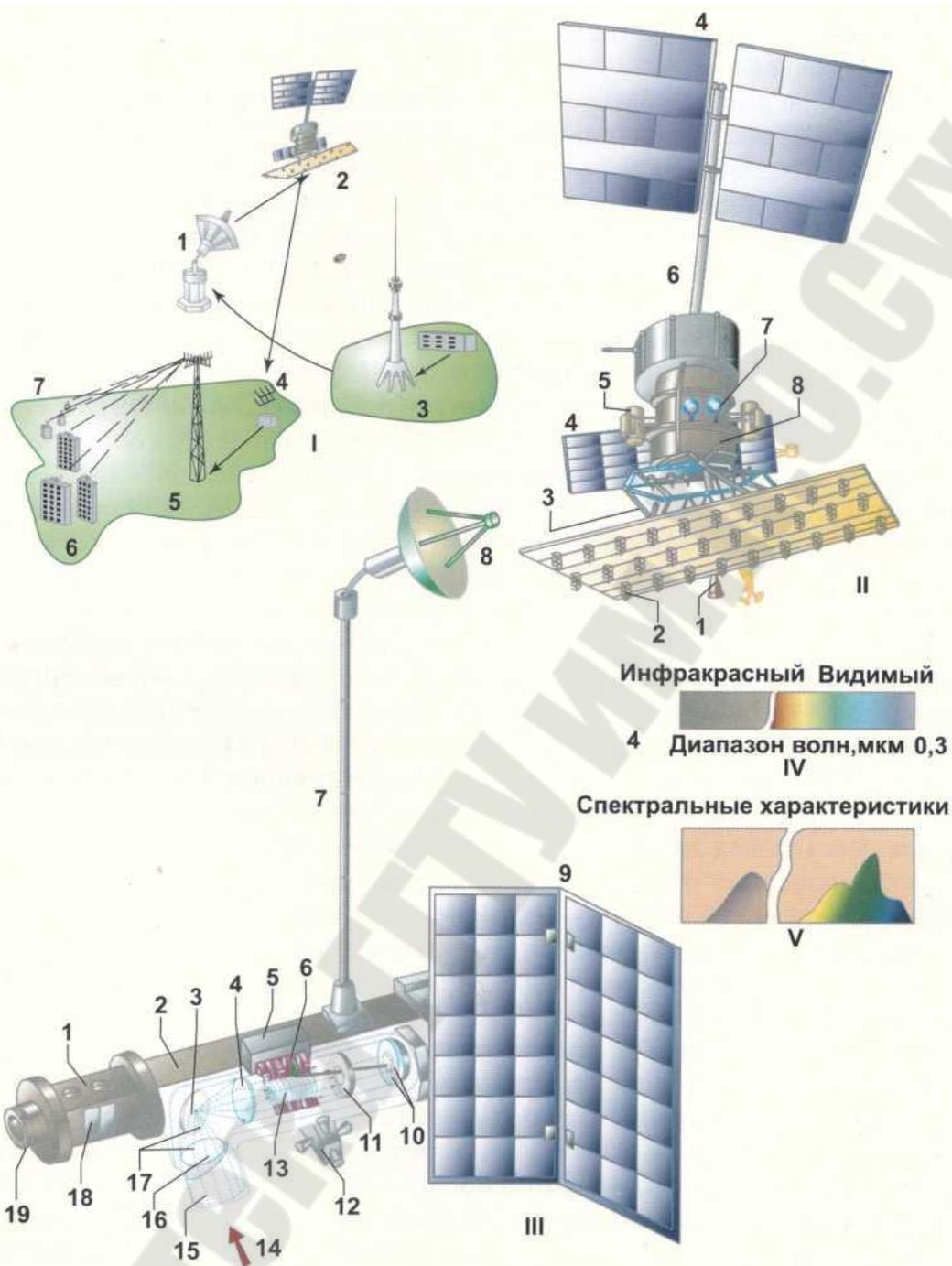


Рис. 5.1. Беспилотные космические летательные аппараты: сверху — спутник связи, снизу — спутник наблюдения за земной поверхностью

Останкинская телевизионная станция 3 непосредственно передает программы Москве и Московской области. Для приема в дальних районах Сибири и Крайнего Севера установлена станция 1, получающая по кабелю телевизионные программы и передающая их на спутник «Электрон» 2, находящийся на круговой стационарной

орбите, где производится ретрансляция радиоволн и через фазированную антенну телевизионные сигналы поступают на приемные станции 4. Они связаны кабелем с ретрансляторами 5, которые передают телепередачи населению в городах 6 и сельских поселках 7.

На рис. 5.1, позиция II, приведен общий вид спутника «Экран» с панелью остролучевых антенн 2 и передатчиком большой мощности 8. Антенны крепятся через раму 3. Для обеспечения коррекции орбиты на спутнике установлен жидкостный реактивный двигатель 1. Точная стабилизация спутника по всем трем осям осуществляется силовыми гироскопами 7 и двигателями с малой тягой, работающими на сжатом газе. Топливо для обоих типов реактивных двигателей поступает от цилиндров 5, размещенных вне корпуса. С помощью телескопической штанги 6 разворачиваются солнечные батареи 4.

Дополнительно снизу устанавливаются две панели солнечных батарей.

Всего на орбиты выведено одиннадцать спутников «Экран», которые размещались над экваториальной частью Индийского океана.

Запуск спутников связи стал началом бурного ввода в эксплуатацию беспилотных орбитальных космических летательных аппаратов для картографии, изучения природных ресурсов Земли, ледовой разведки, определения степени загрязнения атмосферы и океанов. С помощью фотографий определялись наводнения, лесные пожары, бури, снежные лавины.

На наклонные орбиты с высотой 900 км были выведены три метеорологических спутника «Метеор», собирающие и передающие информацию о состоянии погоды. Сейчас действует международная глобальная метеорологическая спутниковая система.

На рис. 5.1, позиция III, показан спутник, предназначенный для исследования поверхности Земли и океанов. Спутник отделяется через стыковочный узел 19 от последней ступени ракеты-носителя и может совершать полеты на различных высотах в диапазоне 200—600 км в зависимости от своего назначения. Для точной стабилизации его положения при осмотре местности используются реактивные двигатели с малой тягой 12. Заправка топливом производится из баллонов, вставляемых в корпус через люки 18. Питание электроэнергией всей аппаратуры спутника осуществляется от солнечных батарей 9 и буферных аккумуляторов с использованием устройств поддержания напряжения.

В приведенном варианте спутник предназначен для наблюдений за вырубкой лесов в районе реки Амазонки, за перемещением песков в пустынях и осмотром сельскохозяйственных посевов.

В корпусе 1 установлен уникальный по своим возможностям блок осмотра 2 с оптической системой, состоящей из линз и зеркал, образующих угловой телескоп с двойным набором внешних и внутренних волоконных колец 13, а также датчиков 6, преобразующих световые сигналы в электрические.

Приведем общие сведения о работе блока осмотра. Отраженный от поверхности сигнал, показанный на рисунке точками, по направлению стрелки 14 через входное отверстие 15 поступает на объектив 17, а затем, отражаясь от первичного зеркала 3, в объектив 4, который фокусирует его во внутренние кольца телескопа. (Таких колец семь.) Далее сигнал отражается от вторичного зеркала 11 и в виде параллельного потока проходит мимо внешних волоконных полуколец (на рисунке он показан короткими штрихами). Через отверстие во вторичном зеркале сигнал попадает на сканирующее зеркало 10, где с помощью развертывающего устройства в виде вращающегося луча, попадает на внутренние кольца. Они последовательно вводят в действие датчики, обладающие различной чувствительностью к отраженным сигналам в диапазоне от 0,3 до 4,0 мкм (см. рис. 51, позиция IV). Для исключения влияния нагрева трубы телескопа на показания датчиков вводится холодильная установка 16, поддерживающая постоянную температуру.

Каждый из датчиков в наземных условиях настраивается на определенные длины волн в видимом и инфракрасном диапазонах от темно-фиолетового до темно-бурого цветов, как показано на рис. 5.1, позиция IV. В рассматриваемом варианте спутника настройка его датчиков осуществляется в следующих семи диапазонах: первый (0,45—0,52 мкм) — синий, цвет воды в океане; второй (0,59—0,62 мкм) — темно-зеленый, лесные массивы; третий (0,64—0,69 мкм) — светло-зеленый, цвет полей с посевами зерновых культур; четвертый (0,76—0,90 мкм) — желтый, цвет полей, пораженных вредителями или засухой; пятый (1,05—1,55 мкм) — светло-коричневый, сухая почва; шестой (1,45—2,35 мкм) — коричневый, влажная почва; седьмой (2,32—3,62 мкм) — темно-коричневый, грунтовые дороги. Можно производить перенастройку датчиков и на другие цвета поверхностей, например бетона, асфальта, шлака от тепловых электростанций и т. п.

На рис. 5.1 показано положение сканирующего светового луча на третьем внутреннем кольце, а стрелка указывает направление сигнала на второй датчик. Он поступает на многоспектральное устройство, формирующее соответствующую спектральную характеристику (см. рис. 51, позиция V). Электрические сигналы с датчиков через усилители 5 поступают в мощное передающее устройство, а затем в антенну 8, вынесенную на телескопической штанге 7. Оттуда сигналы попадают на приемные антенны наземных станций и в вычислительные центры. На ЭВМ строится карта местности с обозначением состояния различных сельскохозяйственных культур.

12 апреля 1961 г. в 9 ч 07 мин с космодрома Байконур взлетел пилотируемый Юрием Алексеевичем Гагариным космический летательный аппарат. Корабль «Восток» за 89 минут облетел вокруг Земли и успешно приземлился.

Спустя четыре месяца Герман Степанович Титов облетел Землю семнадцать раз. Затем следуют с интервалом через одни сутки полеты Андриана Григорьевича Николаева и Павла Романовича Поповича.

В 1962 г. космонавты США — Джон Гленн, затем Скотт Карпентер и наконец Уолтер Ширра — совершают орбитальные полеты.

В 1971 г. запущена первая орбитальная станция «Салют-1», функционирующая в околоземном космосе 170 дней. Она состыковывалась с транспортными пилотируемыми кораблями «Союз-10» и «Союз-11», в каждом из которых экипажи состояли из трех человек. Космонавты успешно работали длительное время на станциях «Салют-2» — «Салют-7». Причем станция «Салют-7» просуществовала в космосе 1760 дней.

На орбитальных станциях «Салют» осуществлялись астрономические наблюдения за отдельными звездами, галактиками, Крабовидной туманностью в созвездии Тельца и другими далекими объектами. Большое внимание уделялось производству высококачественных материалов, выращиванию кристаллов арсенида галлия, антимонида индия и кадмия-ртути-теллура. Проводились эксперименты с электронагревательными печами, в которых изготавливались сплавы металлов с различными удельными весами и сверхчистые стекла для волоконной оптики.

Космические комплексы «Аполлон» и «Скайлэб» стоили достаточно дорого, и поэтому Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства приняло

решение о создании аэрокосмического комплекса многоразового использования «Шаттл». Он представлял собой пилотируемый летательный аппарат самолетного типа «Орбитер» и выводился на круговую орбиту вокруг Земли разгонной ступенью, состоящей из двух твердотопливных ускорителей и внешнего топливного бака с кислородом и водородом. «Шаттл» взлетал вертикально, и от него отделялись сначала оба твердотопливных ускорителя, а при выходе на круговую орбиту аппарата «Орбитер» отделялся внешний бак.

«Орбитер» мог летать на орбитах от семи до тринадцати суток, а затем садился на аэродром, как обычный самолет.

Рассмотрим детально конструкцию пилотируемого орбитального летательного аппарата, показанного на рис. 5.2, сверху. В носовой его части располагался герметический отсек вместимостью до восьми человек, а в хвостовой — грузовой размером 18,3 x 4,6 м, в котором могли размещаться полезные грузы с массами от 29,5 т до 11,3 т. На рисунке изображена установка робота 2 в грузовом отсеке 1 с манипулятором 5, имеющим на конце схват 7 с установленными на нем датчиками 8, двумя телевизионными камерами 6 и осветителями 9.

Все суставы манипуляторов снабжены малоскоростными электрическими двигателями постоянного тока, тахогенераторами и устройствами замера угловых положений, которые размещены в шарнирных соединениях 4. Стойка плеча 3 с защитой обеспечивает его неподвижность в убранном состоянии в грузовом отсеке.

Дистанционное управление роботом оператор осуществляет из передней кабины 12. Перед началом работы он на пульте 13 включает тумблер подачи электрического тока во все устройства робота. Затем нажимает кнопку сверху ручки 11, открывая люки грузового отсека 16 и радиатора 15.

При этом происходит открытие защелки плеча робота, и он готов к работе. Оператор, правой рукой поворачивая ручку, приводит в движение манипулятор и подводит схват к обследуемому космическому объекту. Наблюдение за его работой можно осуществлять либо по двум телевизионным камерам 10, либо через смотровые окна 14. Кроме того, в систему слежения входят несколько дополнительных телевизионных камер, установленных на передней и задней стенках грузового отсека, что упрощает процессы укладки крупногабаритных грузов, а также проведение осмотра их места крепления.

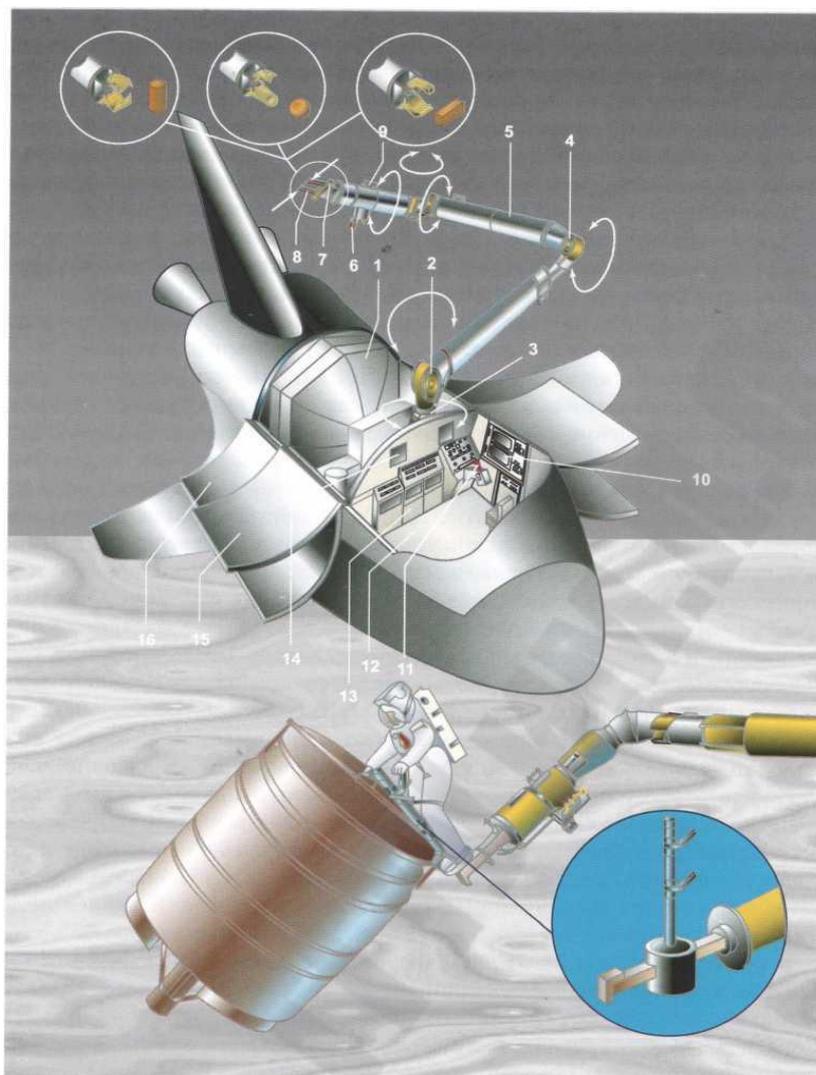


Рис. 5.2. Пилотируемый орбитальный летательный аппарат многоцелевого действия космического комплекса «Шаттл»: сверху — общий вид с роботом; в центре — манипулятор робота удерживает космонавта; снизу — схваты

Манипулятор робота способен обслуживать полностью всю верхнюю полусферу в радиусе девяти метров и часть нижней.

Робот «Шаттл» может выполнять следующие операции на орбите: выводить научно-исследовательские пилотируемые лаборатории «Сиейслэб» многоцелевого действия; запускать свободно летающие роботы для стыковки с модулями и спутниками с целью их проверки и ремонта; разворачивать и устанавливать телескопы; контролировать операции разгрузки и погрузки спутников в грузовой отсек; изменять ориентацию солнечных батарей; выполнять различные операции с перемещением космонавтов в открытом космосе и др.

На рис. 5.2. сверху, слева, приведены три сменяемых схвата рабочего органа и снизу, справа, — один кронштейн. Все они имеют самоцентрировку и автоматическое защелкивание для исключения потери захваченного объекта. Телевизионные камеры и осветитель подключаются с помощью специального разъема, установленного на запястье с фиксируемым упором. Перестановка схватов осуществляется в грузовом отсеке. На этом же рисунке, в центре, показана работа космонавта по захвату спутника для его постановки в отсек.

Отладка конструкции робота-манипулятора потребовала много времени для обеспечения захвата движущихся и вращающихся спутников, а также для отработки схватов.

В Советском Союзе приступили к созданию аэрокосмического многоэтажного комплекса «Энергия»—«Буран», по своему составу и принципу действия аналогичного американскому «Шаттл».

Резкое сокращение финансирования космической промышленности привело к полной ликвидации работ по комплексу. Ведущая организация «Молния» прекратила работы по кораблю «Буран». В дальнейшем в России стали проводить только такие космические программы, которые сразу же давали экономические выгоды. Все работы были сведены к изготовлению пилотируемых космических летательных аппаратов для работы на орбитах с периодической заменой космонавтов.

В 1986 г. Советский Союз приступил к созданию орбитальной станции «Мир». Сначала был выведен на орбиту базовый модуль, оборудованный средствами обеспечения нормальной жизнедеятельности людей, аппаратурой управления всей станцией и радиотелевизионными установками для связи с Землей. В следующем году с ней стыковался модуль «Квант», предназначенный для проведения медицинских исследований и научных экспериментов.

Затем к станции были пристыкованы следующие модули: лаборатория для выполнения научно-исследовательских работ «Квант-2»; малый завод «Кристалл», производящий в условиях невесомости новые материалы, кристаллы и химически чистые вещества; оптический комплекс «Спектр», предназначенный для фотографирования поверхности Земли и различных наблюдений; оранжерея «Природа», где выращивались растения для изучения возможности получения более урожайных и содержательных сортов.

Последний модуль «Природа» состыкован со станцией в 1996 г. Так постепенно в течение десяти лет собиралась уникальная

космическая станция «Мир», масса которой достигла 125 т. После 13 лет космических полетов 23 марта 2001 г. станция была затоплена в океане.

На рис. 5.3, сверху, показана орбитальная станция «Мир», состоящая из постоянно действующих модулей: базового 12, медико-научного «Квант» 11 с решетчатой башней 9 и научно-производственного «Квант-2» 6. Слева от вертикальной оси станции размещены модуль «Кристалл» 4 и возвращаемый корабль «Союз-Т» 5, а справа — «Природа» 13. Снизу установлен модуль «Спектр» 1, для исследования земной поверхности, океанов и атмосферы, а к модулю «Квант» пристыкован корабль «Прогресс» 10. Для стыковки с кораблями имеется узел 3, а шлюз 7 предназначен для выхода космонавтов в открытый космос. Энергетическая установка с пиковой мощностью 6 кВт состоит из десяти солнечных батарей 2 и легкой буферной аккумуляторной батареи. Охлаждение модулей осуществляется от четырех радиаторов 8. На станции могли работать одновременно до шести человек.

Внешний вид международной орбитальной космической станции показан на рис. 5.3, снизу. На рисунке видно, что она состоит из нескольких основных модулей: командных — для управления всеми процессами на станции, жилых, научно-исследовательских и производственных.

Все члены экипажей смогут проходить через модули и стыковочные узлы. Универсальный стыковочный модуль 4 соединит между собой основные модули. Обеспечение электрической энергией осуществляется комбинированной системой питания, состоящей из солнечных батарей 2, научно-энергетической башни 9 и солнечных энергоустановок 13, регулирование которыми будет осуществляться с башни по запросам с командных модулей или отсеков. Для охлаждения всех блоков станции применяются большие радиаторы 1.

Крупные солнечные батареи, радиаторы, продольный и поперечный наборы модулей прикрепляются к силовой фермовой балке 14. Стыковка кораблей с прилетаемыми и улетаемыми экипажами производится с помощью трех узлов.

На рисунке изображена стыковка грузовых кораблей и «Прогресса» 3. Для спасения всех людей, находящихся на орбитальной станции, в случае глобальной катастрофы, имеется корабль-спасатель 10. Заправка всех кораблей и двигателей управления и стабилизации станции осуществляется от топливного модуля 6.

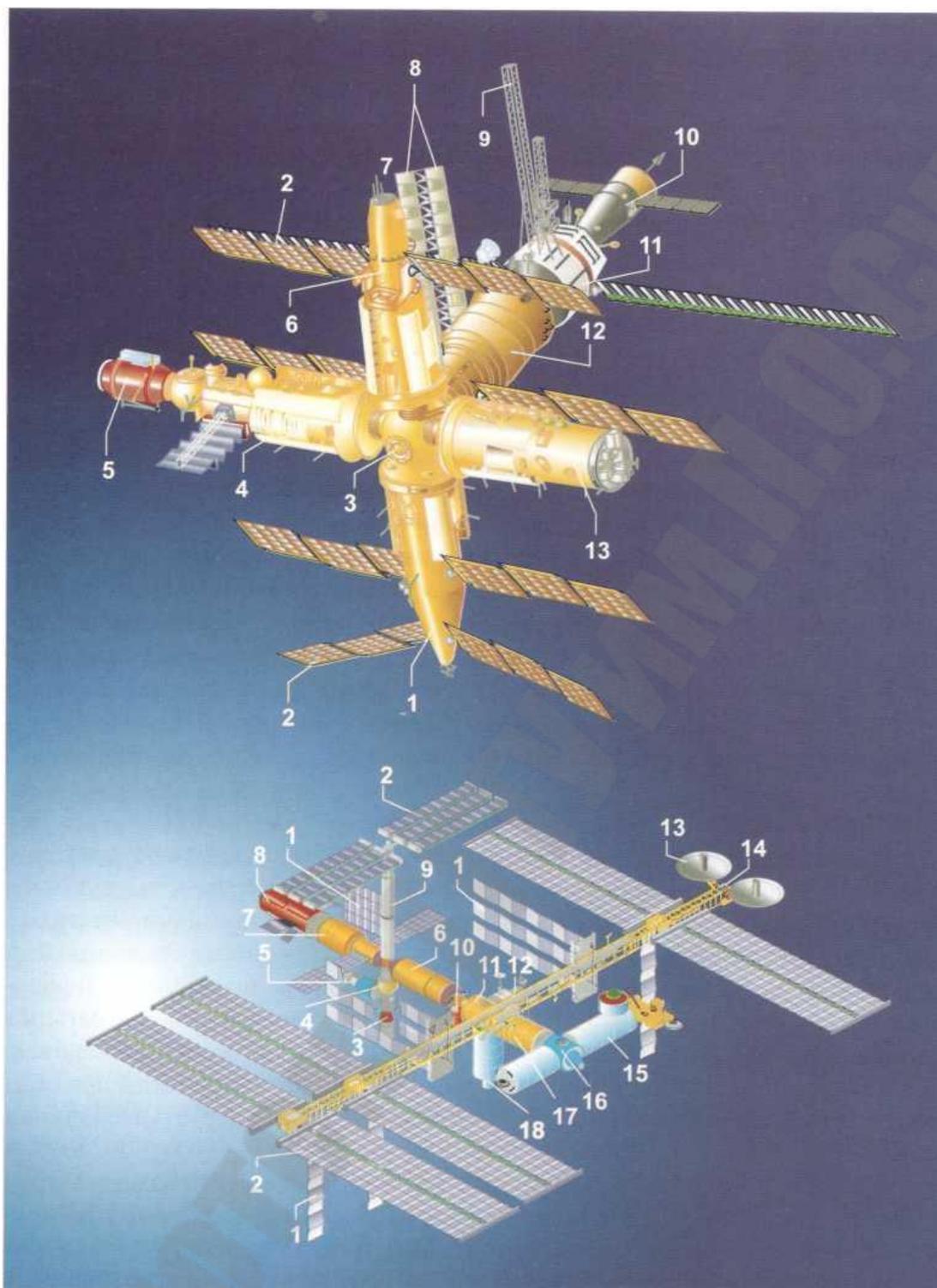


Рис. 5.3. Общие виды пилотируемых орбитальных космических станций: сверху — «Мир», снизу — «Международная»

Производственные модули станции в связи с ее большими размерами позволят наладить новые технологические процессы и приступить к промышленному изготовлению сверхлегких защитных плит для космических кораблей, сверхпрочных турбинных лопаток с

переменной плотностью, гермоизоляционных тканей. Такие материалы могут существовать при температурах выше 5000°C. На орбитальных станциях можно из созданных сверхчистых материалов производить новые типы микрочипов для вычислительной техники или специальные электронные и лазерные приборы, обладающие большой долговечностью. Одним из наиболее перспективных направлений представляется производство высококачественных фармацевтических препаратов: ферментов, антибиотиков и многих других, часть из которых не может быть изготовлена в наземных условиях.

На международной орбитальной станции будет находиться робот-манипулятор, способный перемещаться поверх силовой фермовой балки от одного места крепления к другому и не только обслуживать модули в космосе, но и беречь их от столкновения с летающими объектами (сейчас их имеется более 5000) и космическим мусором, образовавшимся от запусков и разрушений аппаратов, бороздящих пространство в различных направлениях на околоземных орбитах.

5.2 Роботы на Луне

Человек видит лунную поверхность только с одной стороны, другая остается невидимой.

В 1961 г. космический модуль «Луна-1» пролетел около Луны на расстоянии 5000 км и затем стал первым спутником Солнца. Установленные на нем приборы не обнаружили на Луне ни магнитного, ни радиационного полей. Затем ракеты-носители вывели к Луне модули «Луна-2» и «Луна-3». Первый совершил посадку на поверхность, а второй в течение 40 минут фотографировал невидимую сторону и передавал изображения на Землю. По фотографиям составили карту и изготовили глобус Луны. Оказалось, что с обратной стороны меньше «океанов» и «морей», а также крупных кратеров. В остальном же она мало отличается от ее видимой части. Присутствия живой природы на ней не обнаружили.

В 1963 г. советские конструкторы под руководством С.П. Королева изготовили многоступенчатую ракету-носитель, способную выводить к Луне тяжелые автоматические модули. Затем было осуществлено шесть полетов «Луна-4» — «Луна-9». Модуль «Луна-9» произвел мягкую посадку на поверхность и передавал более

восьми часов телевизионные панорамные изображения лунных ландшафтов. По ним изучали микрорельеф грунта и установили, что на поверхности нет толстого слоя пыли, в который, как полагали раньше, будут погружаться все тяжелые тела. Затем было произведено много запусков модулей «Зонд-3», «Зонд-4» и «Луна-10» — «Луна-24».

На рис. 5.4 показаны траектории полета зондов и модулей, орбиты их вокруг Луны и посадки модулей на поверхность.

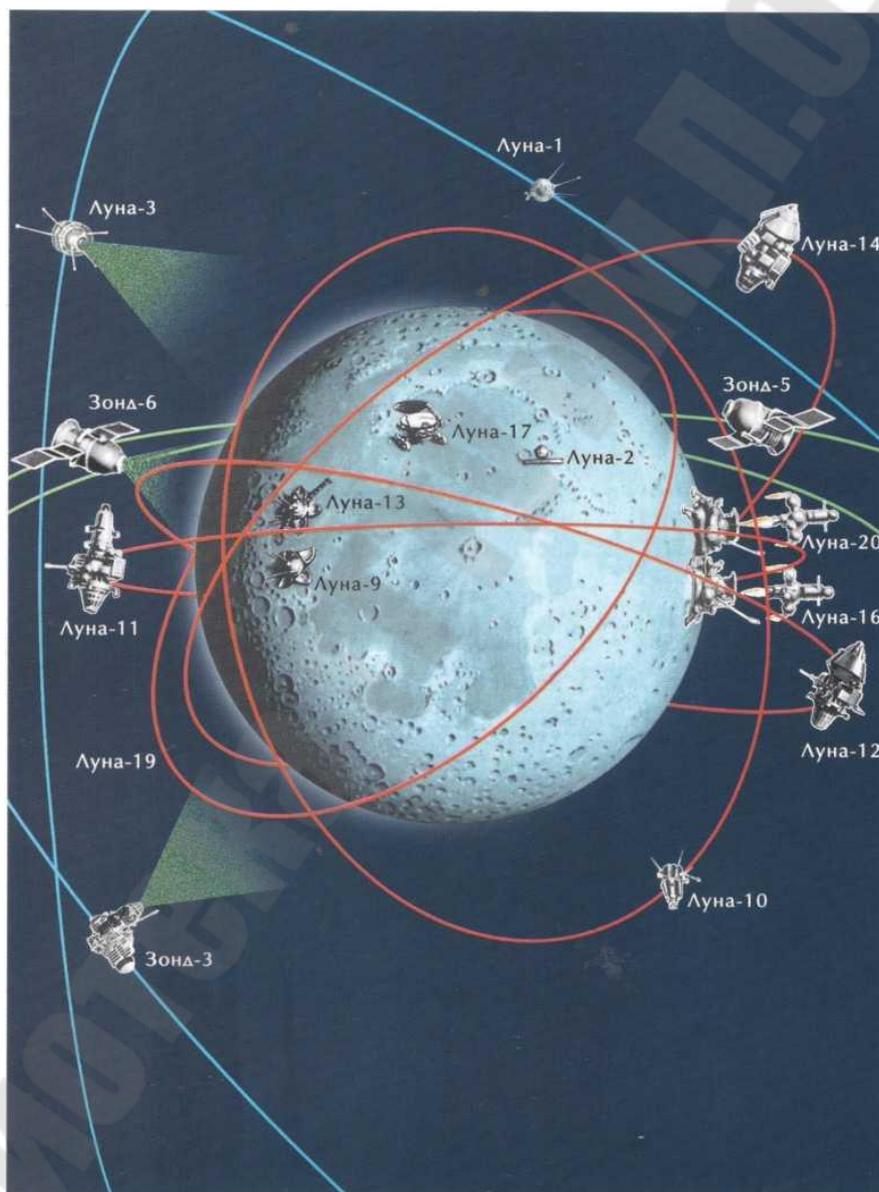


Рис. 5.4. Беспилотные космические летательные аппараты на лунных орбитах и с роботами на Луне

На рисунке видно, что около западной окраины океана Бурь совершила посадку «Луна-13», оснащенная роботами-манипуляторами, определившими плотность грунта.

Модули «Луна-16», «Луна-20» и «Луна-24» с манипуляторами, снабженными буровыми головками, смогли не только извлечь лунную породу, но и доставить ее на Землю. Химический анализ установил, что в составе грунта находятся окислы, содержащие 20% кремния, 13% железа, 9% кальция, 8% алюминия, 5% магния, 2% титана и некоторые другие элементы. Позже эти данные подтвердились после анализа лунных пород, доставленных на Землю американскими космонавтами.

Для проведения комплексных научных исследований модули «Луна-17» и «Луна-21» доставили на поверхность Луны самоходные транспортные установки «Луноход-1» и «Луноход-2» с роботами-манипуляторами, снабженными грунтозаборными головками.

Луноходы имели высокую проходимость благодаря восьми ведущим колесам, приводимым во вращение отдельными электрическими двигателями с электродинамическим торможением. Управление луноходами осуществлялось с Земли радиокомандами, передаваемыми человеком-оператором, наблюдающим за лунной поверхностью через стереометрическую систему с двумя телевизионными камерами.

В приборном отсеке размещались четыре телекамеры, определитель местной вертикали, два радиолокатора, аппаратура для научных исследований и электронные преобразователи. На луноходе устанавливались две энергетические установки: изотопная для подогрева газа, циркулирующего внутри лунохода, чтобы исключить влияние резкого перепада температур ночью и днем; солнечные батареи и буферные аккумуляторы для питания электродвигателей, радиолокаторов и измерительной аппаратуры.

«Луноход-1» перемещался в Море Изобилия 300 суток и сделал свыше 20000 снимков, охватывающих территорию 500 000 м². В 500 точках измерялись физико-механические свойства грунта, а в 50 проводился химический анализ.

«Луноход-2» был посажен в Море Ясности. В условиях сильно пересеченной местности за пять лунных дней он прошел расстояние, равное 37 км.

На рис. 5.5. сверху, изображены траектория полета (16 июля 1969 г.) основного блока с лунной кабиной космического корабля

«Аполлон», ставшего спутником Луны на высокой орбите, перевод на нижнюю орбиту, отделение лунной кабины и ее спуск на поверхность Луны.

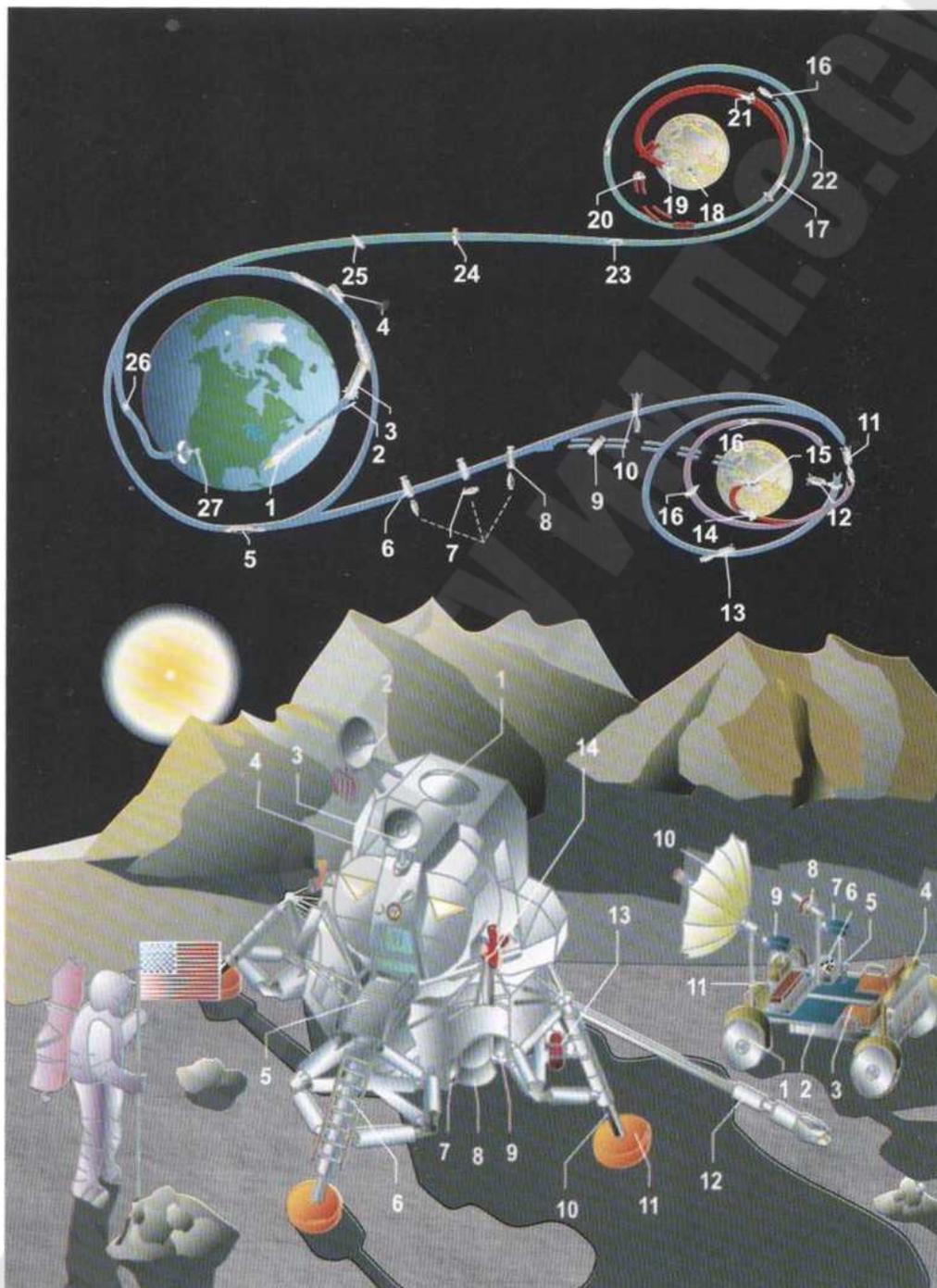


Рис. 5.5. Первые люди посещают Луну: сверху - траектории полета к Луне и возвращения на Землю; снизу — американские космонавты исследуют лунную поверхность

Все этапы полета на Луну и возвращения экипажа на Землю показаны на рис. 5.5. сверху, и обозначены цифрами: 1 — старт ракеты-носителя «Сатурн-5», 2 — сброс системы аварийного спасения, 3 — отделение первой ступени. 4 — отделение второй ступени, 5 положение третьей ступени с лунной кабиной.

В это время космонавты выходят на поверхность Луны и приступают к ее изучению. Закончив все работы, они занимают свои места во взлетной ступени 19 и взлетают, оставляя на поверхности лунную кабину 18, как это показано на рис. 5.5, сверху. Далее происходит сближение взлетной ступени 21 с основным блоком и их стыковка 17. Там два космонавта переходят в основной блок, а лунная кабина 20 сбрасывается. Включается двигатель, и основной блок 22 начинает движение по траектории к Земле 23.

Для уточнения траектории выполняется трехкратная коррекция 24. На последнем ее участке от основного блока отделяется возвращаемый отсек 25. Выполнив ориентацию, он спускается до высоты 120 км — 26, а затем погружается в атмосферу. Отражаясь от ее поверхности, снижает свою скорость и на парашютах приводняется в Тихом океане — 27.

Посещения Луны космонавтами показали, что на ее поверхности можно устанавливать сооружения и, безусловно, нужно строить их такими, чтобы они были способны защитить будущих исследователей космоса от обжигающей дневной жары, ледящего ночного холода и смертельной радиации.

На рис. 5.5, снизу, изображена лунная кабина космического корабля «Аполлон» со взлетной ступенью и луноход «Ровер» на поверхности Луны. Кабина состоит из стыковочного узла 1, поворачиваемой антенны 2. антенны 3 и взлетной ступени 4. На двух шестиметровых телескопических манипуляторах роботов установлены устройства забора грунтовых пород 12, анализируемых спектрографами. В качестве источника питания электроэнергией применена радиоизотопная установка 13. На стенках корпуса взлетной ступени установлены блоки двигателей ориентации 14.

На рис. 5.5 справа, показан четырехколесный робот-луноход. Каждое из колес 1 приводится во вращение от электрических двигателей. Оси колес прикреплены на упругих опорах к раме 2. Под сидениями космонавтов 3 поставлены контейнеры для сбора крупных образцов лунных пород, а впереди задней стенки лунохода установлены два снимаемых ящика 4 для мелких образцов грунта.

Управление движением лунохода осуществляется при помощи ручки 5. Подключение киносъёмочной камеры 7 и телевизионной камеры 9 производится на пульте 6. Узконаправленная антенна 8 обеспечивает связь лунохода с лунной кабиной корабля «Аполлон», а антенна 10 — с Землей. Приемно-передающие устройства размещены в блоке 11. Корпус лунохода изготовлен из легких алюминиевых сплавов, а обода колес — из оцинкованной проволоки. Резиновые протекторы обладают высокой проходимостью по сыпучим и пылевым поверхностям. При диаметре колес 0,8 м и ширине колеи 1,8 м луноход разворачивается с малым радиусом порядка 3,0 м. Это позволяет ему быстро обходить нагромождения грунтовых пород и крупных камней. Масса лунохода равна 210 кг, а при полной нагрузке составляет 725 кг. В собранном виде он имеет объем 0,8 м³ и легко размещается в посадочной ступени лунной кабины.

Установлено, что Луна и Земля существуют 4,6 миллиарда лет. В лунных породах содержатся металлы гафний и цирконий с высокими температурами плавления, а в наземных — калий и натрий с низкими. Это сравнение показывает, что гипотеза о происхождении Луны от Земли ошибочна.

По расположению магнитных аномалий ученые установили, что на Луне трижды происходили значительные перемещения магнитных полюсов, вызванные столкновениями с небесными телами. При этом перераспределялась масса планеты и перемещалась ось вращения.

Сейчас многие спрашивают: «Зачем тратить деньги на Космос, когда на Земле столько проблем?» На такой обывательский вопрос можно ответить так — каждый вложенный доллар в программу «Аполлон» принес 14 долларов чистой прибыли.

5.3. Планеты Солнечной системы изучают роботы

Во второй половине XX в. к планетам Солнечной системы стали посылать космические летательные аппараты, которые либо облетали планеты, либо спускали на поверхность модули для изучения атмосферы и состава поверхностного слоя. Робототехнические системы добывали пробы и на месте проводили химические анализы газов и грунта. На Землю передавалась первая достоверная информация о природе планет. Это был важнейший шаг в освоении человечеством Солнечной системы.

Яркосияющая на небосводе планета Венера, родная сестра Земли по размеру, массе и расстоянию от Солнца, всегда привлекала самое

пристальное внимание ученых. Серебристые облака скрывают ее поверхность и делают недоступной для наблюдения астрономов. В Советском Союзе с 60-х годов проводились многочисленные пуски космических летательных аппаратов «Венера», а в США «Пионер», «Маринер» и «Магеллан», приоткрывшие таинственную завесу над этой малоизученной планетой.

В 1961 г. стартовал первый космический аппарат «Венера-1», пролетевший около Венеры и передавший сведения о космических излучениях, напряженности магнитных полей и потоках заряженных частиц межпланетного газа. Через четыре года уходят в космос «Венера-2», затем «Венера-3» со спускаемым модулем. Во время спуска в атмосферу на высоте 22 км от поверхности Венеры он прекратил свое существование из-за высокого давления, достигающего 18 атмосфер, и температуры, равной 277°C. Поверхности планеты достичь не удалось. Однако переданные с борта модуля данные о составе атмосферы, содержащей 93% углекислого газа и 7% азота, о давлении и температуре, превосходили по значимости все ранее накопленные астрономами сведения о Венере. В 1967 г. в космос устремляется «Пионер», который с расстояния 4000 км, фотографирует поверхность планеты. Затем следуют пуски аппаратов «Венера-5» - «Венера-8».

Спускаемый модуль космического летательного аппарата «Венера-7» достиг поверхности планеты 15 декабря 1967 г. и передал данные о давлении атмосферы (90 атм) и температуре, близкой к 475°C. В земных условиях это соответствует давлению в океане на глубине 800 м и температуре плавления свинца. Модуль аппарата «Венера-8» опустился на дневную сторону планеты и сообщил, что, несмотря на сплошной облачный покров, освещенность у поверхности позволит ее фотографировать без искусственной подсветки. Определены также скорости ветров на различных высотах.

Пользуясь накопленными данными, конструкторы создают совершенно новый космический летательный аппарат со спускаемым модулем массой 1,5 т, снабженным самой совершенной аппаратурой. Эта аппаратура позволяла ретранслировать на Землю радиосигналы с невидимой стороны Венеры. Модули с аппаратов «Венера-9» и «Венера-10» осуществили мягкую посадку на планету и передали на Землю панорамные изображения ее поверхности, определили содержание в атмосфере водяного пара и радиоактивных элементов в грунте.

На рис. 5.6, сверху, показан спускаемый модуль, устанавливаемый на космических аппаратах «Венера-13» и «Венера-14». Модуль находится в теплозащитном шарообразном отсеке. За двое суток до посадки он отделяется от летательного аппарата и опускается на вытяжном и уводящем парашютах.

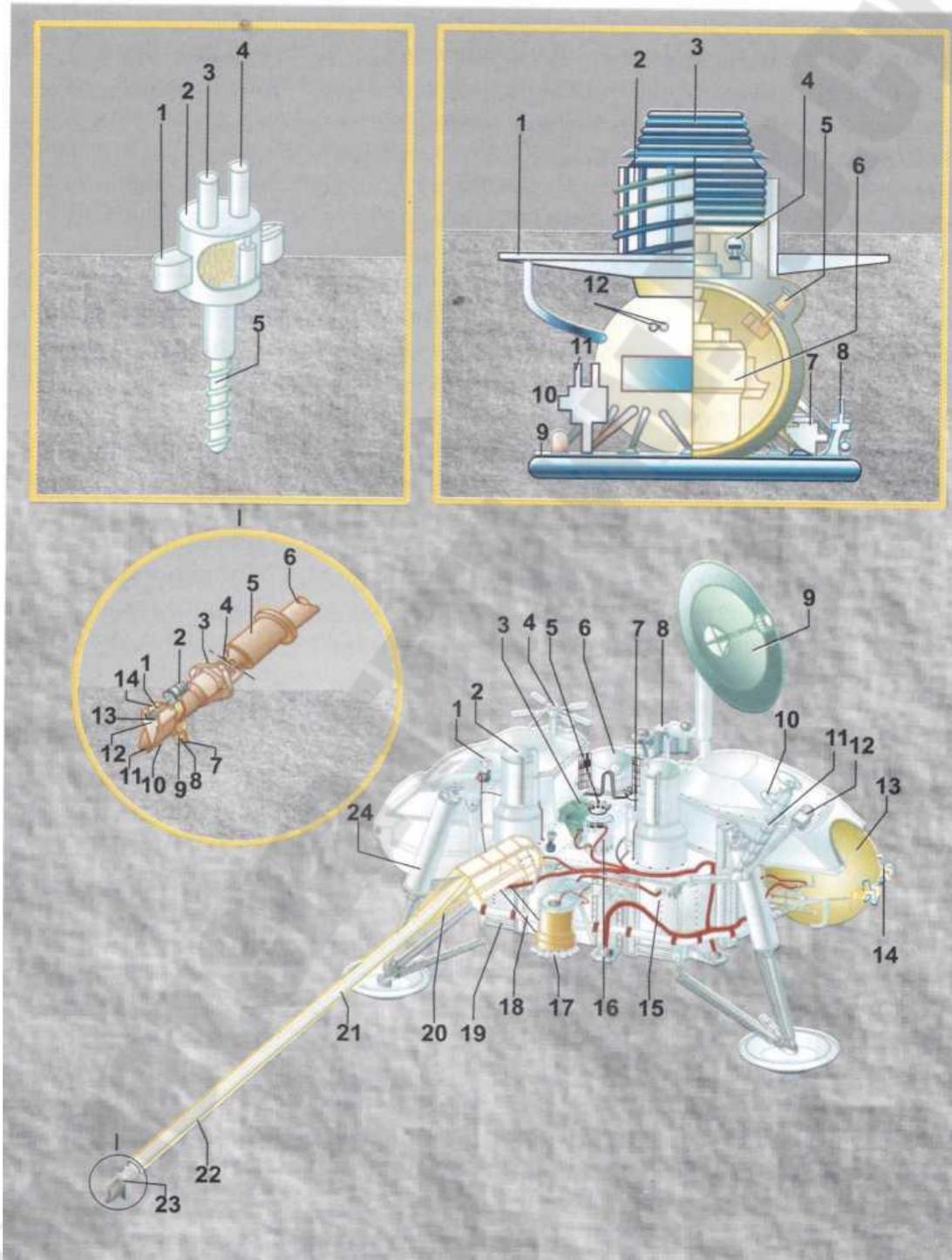


Рис. 5.6. Спускаемые модули космических летательных аппаратов с автономными роботами: сверху — «Венера-14» на Венере; снизу — «Викинг-2» на Марсе

При дальнейшем снижении сбрасываются сначала верхние части тепловых оболочек, затем отстреливаются нижние теплозащитные сферические экраны и после выводятся тормозные парашюты. Модуль под действием аэродинамических средств торможения совершает мягкую посадку на планету.

Детальная конструкция спускаемого модуля изображена на рис. 5.6, сверху, справа. На нем видно, что модуль установлен на посадочном кольце 9 с шаровой и цилиндрической частями, где размещена научная аппаратура 4, 6 и 12. Наверху модуля находится тормозной парашют в сложенном состоянии 3 и антенна 2. В средней части установлено дисковое тормозное устройство 1. Для получения нормального изображения рельефа используется телефотометр 5.

Определение физико-механических характеристик грунта, его электропроводности выполняется прибором 7, а химический состав аэрозолей проводится датчиком 8. Степень влажности измеряется влагомером 10. Извлечение грунта из твердых пород осуществляется грунтозаборным устройством 11. На рис. 5.6, сверху, слева, изображено его положение в рабочем состоянии. Бур 5 приводится во вращение от электропривода 3, и мелкие кусочки грунта попадают во внутреннюю полость корпуса 2. Дальнейшее размельчение грунта и подача его в устройство 1 для химического анализа производится дробящей болтушкой 4.

Сложность создания всех технических средств для определения составов атмосферы, грунта и фотографирования ландшафтов Венеры связана с высокой температурой окружающей среды, близкой к 500°C.

Систематические исследования *Марса* начались после первого полета космического летательного аппарата «Марс-1», запущенного Советским Союзом в 1962 г. Пролетев над Марсом на расстоянии 200 000 км, спутник передал данные об интенсивности космических излучений и о распределении метеоритного вещества, которое удалось измерить при пересечении двух метеоритных потоков.

Через два года США направили к Марсу «Маринер-3» и «Маринер-4»; последний пролетел над планетой на расстоянии 120 000 км. С него производилось фотографирование различных участков поверхности.

В это время сфотографированы спутники Марса — Фобос и Деймос.

Одновременно с «Маринер-9» на орбите вокруг Марса вращались космические летательные аппараты «Марс-2» и «Марс-3».

Во время пылевой бури от них отделились модули, достигшие поверхности и передавшие на Землю состав атмосферы: 95,3% углекислого газа, 1,6% аргона и 0,15% кислорода. Количество водяного пара было в пять тысяч раз меньше, чем в атмосфере Земли.

США вывели на сильно вытянутые орбиты космические аппараты «Викинг-1» и «Викинг-2». Первый модуль совершил посадку на Равнину Христа, второй на Равнину Утопии. С модулей роботы длинными манипуляторами брали порции грунта и сразу же производили химический анализ. Грунт содержал 70% железа, 12% кремния, 6% магния, 5% алюминия, 4% кальция, 1,5% титана и в малых порциях серу, цезий и калий. Производились регистрация сейсмических колебаний и измерение магнитных полей.

Мягкая посадка модуля осуществляется тремя реактивными двигателями торможения 17 с посадочными амортизаторами 24. Устранение крена при посадке производится четырьмя двигателями 14. Топливный бак 13 с гидразином соединен трубопроводом 15 с тормозными двигателями.

Для установления устойчивой радиосвязи и передачи телевизионных изображений применено несколько разных антенн: узконаправленная сантиметрового диапазона 4; передающая сверхвысокочастотная остронаправленная для прямой передачи телевизионных изображений и других материалов непосредственно на Землю 9; посадочный радиолокатор 19.

В камере 2 размещены две фототелевизионные установки. Радиоизотопные термоэлектрические генераторы 10 питают электрическим током радиолокационные станции, электронную вычислительную машину, приборы и датчики.

Для забора грунта используется робот с длинным телескопическим манипулятором 22 и схватом с грунтозаборным устройством 23 выдвигаемым из корпуса посадочного модуля через кронштейн 20 по направляющим 21. Детальная конструкция грунтозаборного устройства изображена на рис. 5.6, снизу, слева. На нём видно, что в корпусе 12 схвата имеются зубья 11, размельчающие твердый грунт, в результате чего образуются мелкие кусочки породы. Под действием вибратора 2 головка схвата 3 с гибким шлангом 4 поворачивается относительно обоймы 5 манипулятора 6 и уходит вниз под грунт. Здесь размельченная порода просеивается через сито

1 и растирается в порошок многозубой теркой 13. Порошок собирается во внутренней полости грунтозаборного устройства, которое после заполнения закрывается крышкой 14. Поступление измельченной породы прекращается, и головка манипулятора поднимается вверх. Крышка на поверхности открывается, и все оставшиеся кусочки породы счищаются манипулятором щеткой 11, как это показано на посадочном модуле (см. рис. 5.6. снизу, справа). Порошкообразная масса поступает в корпус головки схвата лаборатории для химического анализа. Снизу головки установлен скрепер 7, магнитная решетка 8, щетка для очистки от пыли 9 и датчики для измерения температуры грунта при его стерилизации 10. Посадочный модуль используется и для проведения биологических экспериментов. В модуле имеются обогреваемые емкости для углекислого газа и воды и устройства, в которых производится обработка грунта, а также определение в нем микроорганизмов.

Марс вращается примерно с такой же скоростью вокруг своей оси, как и Земля, поэтому длина его суток близка к земной и составляет 24 ч 37,5 мин.

В июле 1997 г. первые шаги на Марсе сделал маленький робот «Соджорнер» с американского космического аппарата «Марс-Пасфайндер», совершившего успешную посадку в дельтовой части долины Арес и Тиу в южном полушарии планеты.

Масса робота — 10.5 кг, длина — 65 см, ширина — 48 см, высота — 32 см. На своих шести ведущих колесах он способен удалиться на расстояние до 500 м от посадочного модуля, сохранив с ним связь в радиодиапазоне УКВ.

«Соджорнер» имеет спереди две телекамеры, позволяющие получить черно-белое стереоизображение поверхности для определения препятствий в автономном режиме и научных наблюдений. Сзади установлена еще одна телекамеры, дающая цветное изображение. Робот снабжен научным прибором — альфа-протон-рентгенофлуоресцентным спектрометром для изучения химического состава поверхности.

Во время измерений сенсорную часть прибора можно помещать на поверхность камня или опускать на грунт. Прибор с помощью радиоизотопного источника облучает место исследования потоком альфа-частиц и проводит измерение следующих потоков: потока отраженных альфа-частиц; потока протонов, образующихся при реакциях взаимодействия альфа-частиц с ядрами легких элементов;

потока характеристического рентгеновского излучения, возникающего при рекомбинации вакансий атомных оболочек во время бомбардировки альфа-частицами. Комбинация этих трех типов измерений дает возможность определить содержание любых химических элементов, кроме водорода и гелия. Причем прибор фиксирует присутствие элементов до десятых долей процента. Кроме того, робот-марсоход проводил ряд экспериментов и измерений для изучения физико-механических свойств грунта, например степени налипания марсианской пыли на панели солнечной батареи и др.

Обширная программа отводится роботам-марсоходам. Управление роботами с учетом трудности осуществления связи на расстояниях несколько миллионов километров является сложной проблемой, поскольку радиосигналы преодолевают расстояние от Марса до Земли и обратно за 20—30 минут. Поэтому роботы должны обладать автономным, приспособляющимся к марсианским условиям, управлением. При обходе сложных препятствий им будут помогать манипуляторы с длинными стержнями и крупными схватами. Можно осуществлять управление по заранее подготовленным маршрутам, которые заложены в карту местности, передаваемую с двух орбитальных спутников. Эти спутники обеспечивают отображение пространственной картины поверхности. Основные задачи, возлагаемые на марсоходы, следующие: цветная панорамная съемка поверхности на трассе, бурение глубоких скважин, дробление камней, сбор образцов породы с укладкой в специальные контейнеры для доставки на Землю, измерение температуры поверхности в разное время суток, фиксация и анализ состояния атмосферы. Кроме того, робот, снабженный специальным оборудованием, сможет выполнять вибропросвечивание глубинных недр планеты с целью исследования ее внутреннего строения. Их высокая проходимость обеспечивается шарнирной подвеской и шестью ведущими колесами, которые будут иметь коническо-цилиндрическую форму с пыленепроницаемыми ободами и грунтовыми зацепами.

Для того чтобы доставить образцы марсианского грунта на Землю, необходимо задействовать две ракеты-носителя: одна выводит на орбиту Марса космический летательный аппарат, другая сажает модуль с марсоходом. Робот-марсоход складывает образцы пород в контейнер и загружает его во взлетный модуль, который должен доставить марсианскую породу к орбитальному аппарату.

С целью предотвращения заражения Земли неизвестными микробами контейнеры с собранными породами должны вскрываться в специальных бункерах роботами-манипуляторами с дистанционным управлением.

Основная проблема в организации поселения на Марсе заключается не в изготовлении блоков на Земле для сборки зданий, сооружений, устройств жизнеобеспечения и научного оборудования, не в их доставке на планету, а в разработке и изготовлении различных высокоорганизованных роботов с автономным управлением и искусственным интеллектом, способных строить и выполнять монтаж сооружений.

Все роботы должны обладать манипуляторами и схватами с высокой степенью подвижности, оснащенными радио- и лазерными дальномерами, стереоскопическими камерами. Это позволит обеспечить плавный подход звеньев и улучшить их взаимодействие. На внутренних и внешних поверхностях схватов необходимо устанавливать матричные тактильные датчики с высокой чувствительностью. Вся информация от них будет поступать на вычислительную машину робота, где она должна перерабатываться для выдачи команд на приводы, управляющие движением манипуляторов и схватов. Распознавание деталей и блоков, поступающих на монтаж, должно выполняться в любых их положениях и при изменениях во внешней среде. При значительной номенклатуре это потребует больших объемов памяти ЭВМ.

Самая крупная планета Солнечной системы — *Юпитер* — по своей массе в 318 раз превосходит Землю и находится от нее в среднем на расстоянии 1 млрд. км. Сильное гравитационное поле и высокая температура газовой оболочки, простирающейся на значительное расстояние от раскаленной жидкой поверхности Юпитера, затрудняет пролет на близком расстоянии космических летательных аппаратов. Кроме того, большая дальность полета, на преодоление которой требуется не менее 21 месяца, вызывает трудности в создании конструкции легких, длительно существующих аппаратов, способных находиться вблизи Юпитера. Пришлось отказаться от принятых ранее компоновок и поместить все оборудование бортовых систем и приборов около крупной параболической антенны, а в качестве источников питания применить радиоизотопные термоэлектрические генераторы. Пространственная ориентация и маневры коррекции траектории обеспечивались

струйными двигателями при малых расходах топлива. Летательными аппаратами такого типа были «Пионер-10» и «Пионер-11», выводимые ракетой-носителем «Атлас-Центавр». Первым стартовал «Пионер-10» в 1973 г. Через три месяца полета он вошел в пояс астероидов и малых планет, движущихся между Марсом и Юпитером, общее количество которых превышает один миллион (см. рис. 5.7, сверху).

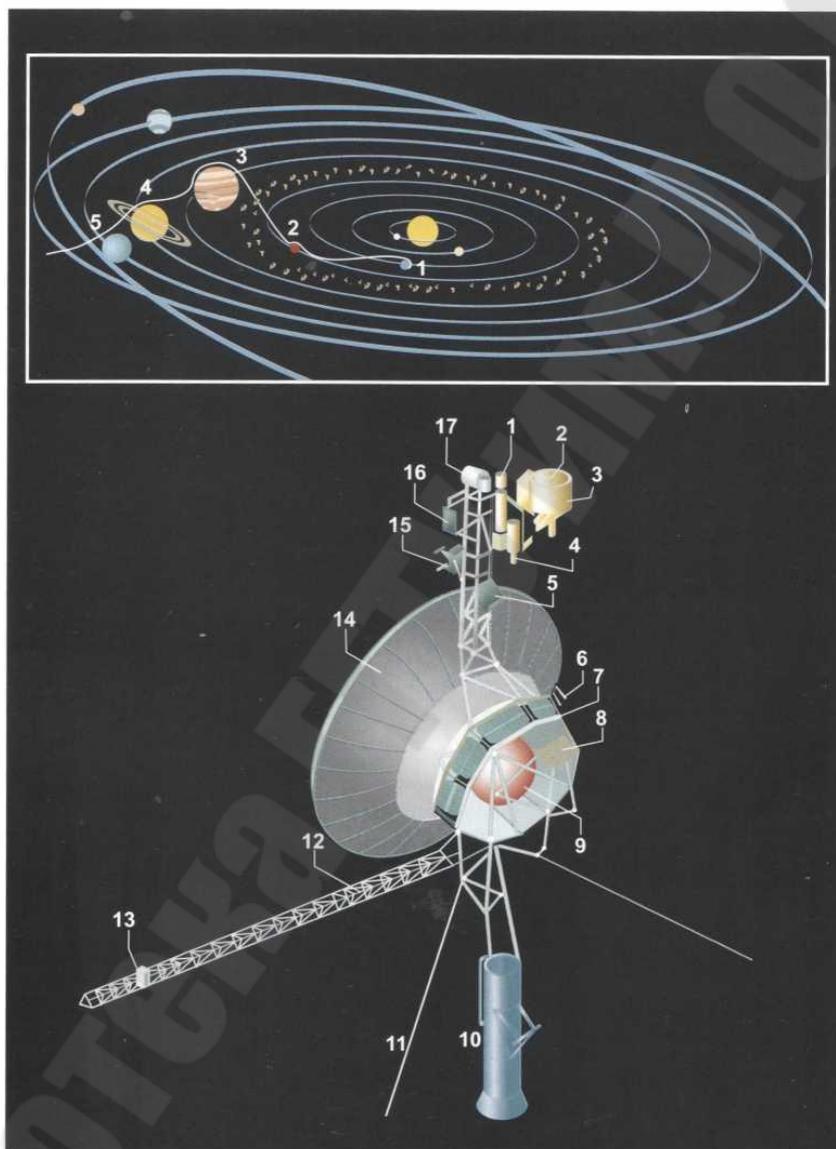


Рис. 5.7. Беспилотные космические летательные аппараты обследуют планеты Солнечной системы: сверху — траектории полета при прохождении Марса, Юпитера, Сатурна и Урана; снизу — общий вид космического аппарата «Вояджер-2»

Космический аппарат «Пионер-10» успешно прошел астероидный пояс, избежав губительных столкновений, и приблизился к Юпитеру на расстояние 131 000 км. За два месяца космический аппарат передал на Землю свыше трехсот изображений Юпитера и его больших спутников.

«Пионер-10» пролетел Юпитер в 1974 г. на расстоянии 43 000 км, траектория его также изменилась под действием гравитационного поля планеты, и он пролетел около колец Сатурна на расстоянии 34 000 км, в 1993 г. достиг орбиты Плутона и улетел в глубь космического пространства.

Оба летательных аппарата определили, что интенсивность радиационных поясов Юпитера в 10 000 раз выше околоземных, а в его магнитосфере происходит мощное ускорение электронов, проникающих до орбиты Земли.

Дальнейшие исследования велись американскими космическими летательными аппаратами «Вояджер-1» и «Вояджер-2», которые в 1979 г. осуществили пролеты около Юпитера. Они передали высококачественные телевизионные изображения планеты и нескольких ее спутников. Были также проведены исследования атмосферы, облачного слоя, параметров магнитного поля, ионосферы и магнитосферной плазмы. Подтвердилось, что Юпитер состоит в основном из водорода и гелия. Отношение содержания водорода и гелия по массе на уровне, отвечающем давлению около 0,97 атм, соответствует 3,4:1.

На рис. 5.7, снизу, показана конструкция аппарата «Вояджер-2». Несущая ее часть состоит из десятигранного алюминиевого корпуса с отсеками для размещения электронного оборудования. На внешних панелях четырех отсеков установлены жалюзи для терморегулирования. Верхняя и нижняя части корпуса защищены многослойной теплоизоляцией. На рисунке видны основные устройства: телевизионная камера с малым углом обзора 1; ультрафиолетовый спектрометр 2; инфракрасный интерферометр, спектрометр и радиометр 3; фотополяриметр 4. На верхней стойке размещены телевизионная камера с большим углом обзора 17; прибор для измерения плазмы 16; детектор космических лучей 15; детектор заряженных частиц низкой энергии 5; остронаправленная радиолокационная антенна 14. На корпусе установлены шестнадцать реактивных двигателей 6; научные приборы, калибровочная панель и радиолокатор 8; топливный бак с гидразином 9; радиоизотопные

термоэлектрические генераторы 10; волновая антенна для радиоастрономических и плазменных исследований; выдвижная штанга 14 с магнитометрами 13. Отсек для электронного оборудования 6 находится внутри корпуса. Все оси каждого космического аппарата стабилизированы по трем направлениям с датчиками, ориентированными на Солнце и звезду Канопус. Бортовая вычислительная машина обеспечивает управление всеми приборами и летательным аппаратом в автономном режиме.

На рис. 5.7, сверху, красной линией изображена траектория полета аппарата «Вояджер-2» и показаны примерные положения планет. Старт с Земли (1) был дан 20 августа 1977 г.; пролет Марса (2) — 12 июля 1978 г.; пролет Юпитера (3) — 9 июля 1979 г.; Сатурна (4) — 25 августа 1981 г.; Урана (5) — 30 января 1986 г.; Нептуна — 24 августа 1989 г. Ближайшее расстояние «Вояджера-1» от Юпитера составляло около 286 000 км, а «Вояджера-2» — 643 000 км.

Следует отметить, что на каждые десять тысяч атомов гелия приходится только один атом гелия-3. В атмосфере Юпитера содержатся неисчерпаемые запасы гелия-3, которые могут обеспечить все энергетические установки на Земле и в ближнем космосе в течение нескольких сотен миллионов лет. Гелий-3 также может служить топливом для ракет, совершающих межзвездные перелеты.

Ученые предложили создать около спутника Каллисто стационарную орбитальную станцию, способную извлекать гелий из окрестностей Юпитера. Все процессы, связанные с извлечением гелия, его очисткой, сжижением и доставкой к месту назначения, могут быть обеспечены только роботами.

5.4 Роботы помогают окружающей среде

Земля как планета представляет собой сложную динамическую систему, которая на протяжении своей геологической истории испытала много потрясений, связанных с дрейфом континентов, оледенениями, падениями гигантских метеоритов, землетрясениями и вулканическими извержениями.

Периодические повторения подобных явлений не смогли превратить ее в безжизненную пустыню. Основная причина этого заключается в том, что наша планета имеет высокую степень устойчивости ко всем внешним воздействиям из-за

сбалансированности процессов, происходящих внутри земной коры, в атмосфере, на суше и в океанах.

Взаимодействие тектонических плит, образовавших Гималайские горы или глубокие разломы в континентальной коре, и отступление оледенений, поднявших уровень воды в океанах, оказывали влияние на состав атмосферы, но в силу процессов саморегуляризации в последние миллионы лет она мало менялась. Вода из атмосферы выпадала на континенты и в океаны. Меньшая ее часть временно задерживалась в грунтах, водах рек и озер. Испарения с континентов и океанов возвращали воду в атмосферу, оставляя неизменным гидрологический цикл. Существовал и кругооборот углекислого газа, который поглощался растениями при фотосинтезе и горными породами в процессе их выветривания. Фотосинтез создавал земные запасы углерода органического происхождения, а ветер известняки.

Погибшие растения, планктон, раковины моллюсков, животные и другие организмы оседали на дне моря. При размыве и выветривании пород происходили процессы образования карбоната кальция, и образовавшийся углекислый газ снова поступал в атмосферу. Такие циклы соблюдались и для всех других элементов.

Сбалансированность циклов на Земле существовала до тех пор, пока человек не стал важнейшим действующим лицом в глобальных изменениях природы. Интенсивная хозяйственная деятельность человечества в течение трех последних столетий привела к значительному увеличению потребления энергии и росту промышленного производства.

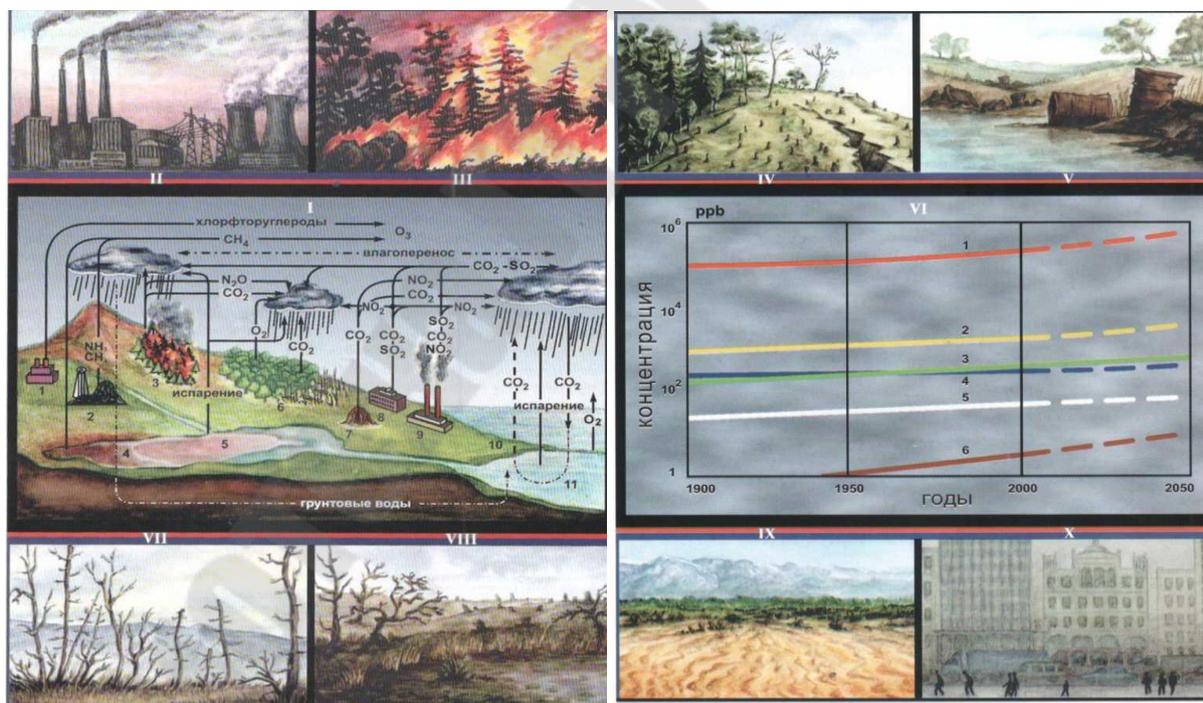
Промышленные предприятия выбрасывают в атмосферу большие количества углекислого газа, метана, хлорфторуглеродов, оксида азота, диоксидов серы, азота и других летучих веществ.

На рис. 5.8 показаны наиболее опасные виды воздействий на экологическую систему, вызванные интенсивной хозяйственной деятельностью (II — V); газовые и гидрологические циклы на планете (I); кривые изменений концентрации газов, выбрасываемых в атмосферу (VI); последствия от нарушений в биосфере (VII X).

В настоящее время на большинстве тепловых энергетических станций (см. рис. 5.8, II) сжигаются огромные количества ископаемого топлива (уголь, нефть). Образующиеся при этом газы CO_2 , SO_2 , NO_2 выбрасываются, а затем возвращаются в виде кислотных дождей и остаются в атмосфере, содействуя глобальному потеплению климата.

Природный газ транспортируется по магистральным трубопроводам общей протяженностью около 1500 тыс. км, а нефть — 600 тыс. км. Более 3200 огромных танкеров с сырой нефтью и сжиженным газом бороздят моря и океаны.

В настоящее время для сохранения атмосферы необходимо принятие безотлагательных и всеобъемлющих мер. Большинство действующих тепловых станций 9 (см. рис. 5.8) нуждаются в установке специальных робототехнических систем, обеспечивающих уменьшение выбросов вредных газов и пыли. Роботы должны смешивать газообразные продукты сгорания с суспензиями и катализаторами. В результате этого газы SO_2 , NO_2 вступают в химические реакции, создающие безвредные вещества, которые удаляются в виде горячих твердых отходов. Для уменьшения выброса CO_2 за камерами сгорания должны размещаться сита с пористыми известняками, улавливающими методом адсорбции углекислый газ. Затем известняки по трубопроводам могут сбрасываться в места захоронения в глубины океана или укладываться подводными роботами в геологические пласты, находящиеся на дне моря.



а б
Рис. 5.8. Глобальное изменение климата, вызванное интенсивной деятельностью человечества: сверху — основные воздействия II—V; в центре — газовые и гические циклы (I), изменение концентрации вредных газов (VI); снизу — влияние на природу (VII—X)

Специалисты в области энергетики в настоящее время предлагают намного увеличить число атомных электрических станций, не загрязняющих атмосферу выбросами опасных газов и пыль. Однако аварии, возникающие на атомных станциях, вызывают у людей недоверие к системам управления радиоактивным распадом и страх перед распространением в мире обогащенного урана и плутония, которые могут быть применены для ядерного оружия.

Повышение надежности атомных станций — одна из первоочередных задач научных и производственных организаций. Эту задачу следует решать путем повсеместного применения робототехнических систем. При высоких уровнях радиоактивности роботы смогут проводить осмотр активной зоны реактора, выполнять ремонтные и сварочные работы, набивать стержни обогащенным ураном и извлекать его после отработки.

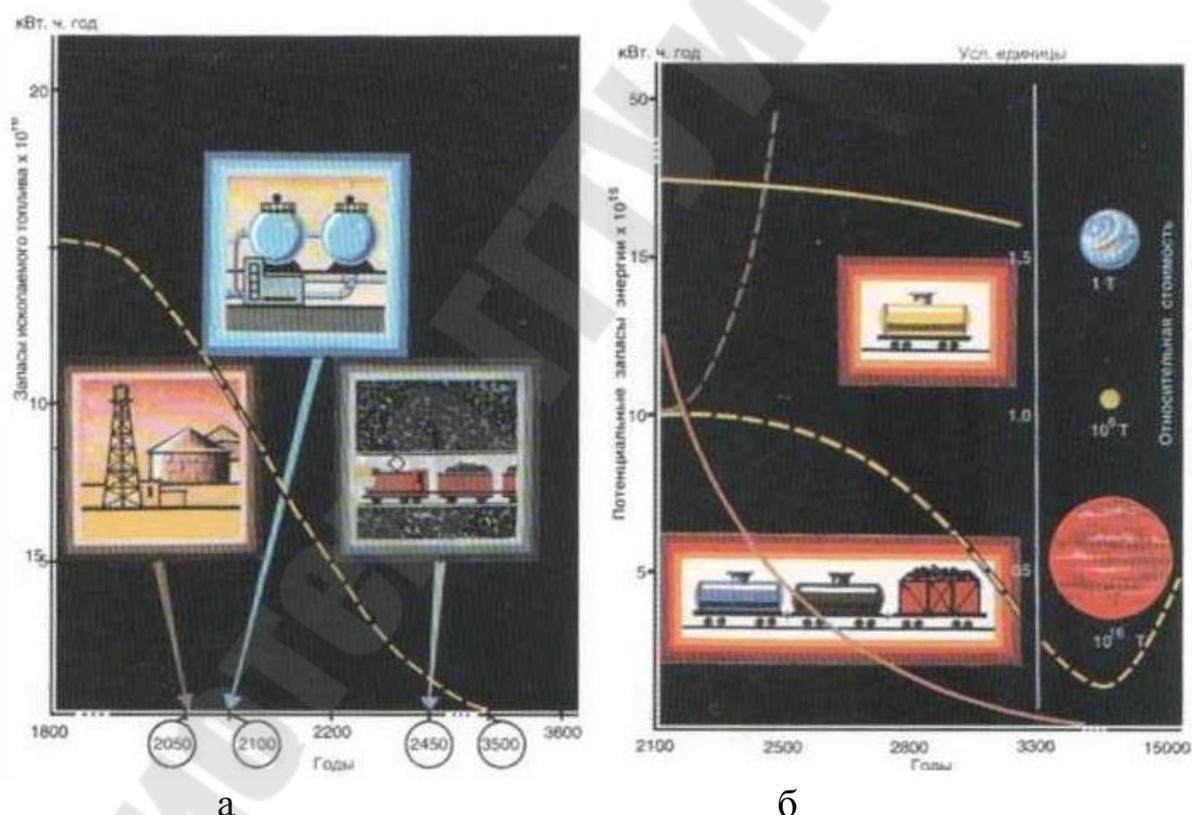


Рис. 5.9. Запасы топлива для потребления энергетическими станциями: а — нефти, природного газа и угля; б — потенциальные запасы, пересчитанные в энергию, и их относительная стоимость

В случае взрыва во внутреннем корпусе специальные роботы смогут перекрыть скользящими задвижками все трубопроводы для

исключения радиационного заражения местности. Кроме того, они смогут контролировать «ловушку» под реактором, которая поглощает радиоактивные элементы и предотвращает попадание их в землю. При взрыве внутренняя часть реактора с помощью роботов должна быть немедленно перекрыта стальными плитами.

Отработанное ядерное топливо с долгоживущими изотопами частично обезвреживается на химических заводах, а большая его часть хранится в шахтах или специально построенных подземных хранилищах. Однако при землетрясениях возможны выбросы радионуклидов, крайне опасных для жизни людей. Поэтому обслуживание таких заводов и хранилищ могут обеспечивать только роботы.

К счастью для человечества, энергия атомных ядер высвобождается не только при делении тяжелых элементов в реакторах, но и при слиянии легких. Такой способ получения энергии безопасен и не вносит нарушений в экологическую систему.

Ученые ведущих стран мира ведут исследования, направленные на изучение термоядерного синтеза, основанного на реакции дейтерия (дейтерий — тяжелый изотоп водорода) и гелия-3. Решение этой проблемы даст людям неограниченный источник энергии. Значительные препятствия на этом пути заключаются в том, что в процессе синтеза возникают сопутствующие нейтронные реакции от взаимодействия с элементами конструкций реакторов. Вскоре ожидается создание более совершенных процессов синтеза, исключаящих эмиссию нейтронов. В результате удастся построить мощные термоядерные электрические станции.

Однако количество гелия-3 в атмосфере Земли крайне мало и не превышает одной тонны. Зато в верхних породах Луны его содержится порядка 10^6 т, а на Юпитере более 10^{16} т, и его придется добывать на Луне или планетах.

На рис. 5.9 I показаны завод 8, выбрасывающий CO_2 , SO_2 , NO_2 , и холодильный комбинат 1, где находятся большие объемы хлорфторуглеродов (фреон-11 и фреон-12). Фреоны, попадающие в атмосферу, вносят практически такой же вклад в парниковый эффект, как и CO_2 . Из шахт 2, где добывается каменный уголь, и из отвалов пород выделяются CH_4 , NH_3 , которые при взаимодействии с фреонами образуют свободный хлор, разрушающий озоновый слой.

Хлорфторуглероды сохраняются в стратосфере до ста лет. Поэтому даже при полном прекращении их выбросов в начале XXI в.

разрушение озонового слоя не прекратится до конца этого века. Восстановление же озонового слоя происходит крайне медленно из-за слабого влияния тропических лесов.

Запасы пресной воды, обеспечивающей существование живой природы на Земле, резко сокращаются. Однако почти во всех странах мира проявляется удивительная беспечность в вопросах сохранения чистоты рек и озер. На берегах рек устраиваются свалки токсичных химикатов (см. рис. 5.9, V), сбрасываются канализационные отходы, несущие угрозу существованию речных растений и рыб.

Для пополнения запасов пресной воды можно использовать гигантские айсберги Антарктиды. Перед доставкой в требуемые районы их следует покрывать защитной пленкой, что могут сделать только роботы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов, М.И. История станков и инструментов в контексте развития техники / М.И. Михайлов. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2011г. – 405 с.
2. Попов, Е.П. Основы робототехники: Введение в специальность/ Е.П. Попов. – Москва: Высш. шк., 1990. – 224 с.
3. Макаров, И.М. Робототехника: История и перспективы/ И.М. Макаров, Ю.И. Топчеев. - Москва: Наука, 2003. – 349 с.
4. Козырев, Ю.Г. Применение промышленных роботов / Ю.Г. Козырев. - Москва: КНОРУС, 2021. – 488с.

Примеры использования роботов



Главная задача робота — выполнять определённую работу вместо людей. И для этого не нужен робот, похожий на человека.

Для перевозки грузов удобнее использовать робота-тележку на колёсах или на гусеницах: их устройство намного проще человеческих ног. А это значит, что такого робота будет быстрее и дешевле сконструировать и изготовить.

Чаще всего роботы, похожие на людей, встречаются в фантастических фильмах и рассказах. Писатели и режиссёры наделяют их умениями людей. Но пока такие роботы — это фантастика.

В космосе



Для упаковки товаров или для работы на сборочном конвейере роботу нужны только механические «руки», которые называют манипуляторами. Ими он берёт детали или держит инструменты.



Проще, дешевле и надёжнее держать в «умном доме» много разных роботов, которые выполняют каждый только какую-то одну работу: пылесосят, следят за температурой воздуха, готовят кофе или котлеты, стирают бельё, — чем единственного робота, похожего на человека.



Есть роботы, которых невозможно потрогать руками, — это компьютерные роботы. Такие роботы называются «ботами» и выполняют ту или иную компьютерную программу. Они тоже могут самообучаться.

ПЕРВЫЕ РОБОТЫ НА ЗАВОДАХ

Первые механизмы, которые появились на заводах, были очень простыми. Они брали детали с конвейера и устанавливали их в нужном месте, приворачивали, сваривали. Но стоило одной детали занять неверное место, гайке оказаться на месте винта — вся линия останавливалась и требовалась помощь человека.

НА ВСЕ РУКИ МАСТЕР

Роботы нового поколения уже научились распознавать, как лежат детали, и сортировать их по видам.

ПЕРЕДВИГАЮЩИЕСЯ РОБОТЫ

На заводах есть роботы, которые могут передвигаться по цеху. Они приезжают на склад, находят и берут нужные детали и отвозят их на конвейер. А если по пути им встретится другой робот, то его просто объедут.

РОБОТЫ НА ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Часто роботов используют на производствах, которые вредны для человека: на химических или металлургических заводах. Есть роботы, которые не боятся жары: они загружают и выгружают кирпичи из печи для обжига, где для человека слишком жарко.

Инженерам не надо придумывать тысячи разных роботов. Они конструируют роботов, которые могут выполнять много разных работ. Всё зависит от того, чему их научат.

ТОЧНАЯ РАБОТА

В ряде случаев машины могут работать лучше, чем человек. В микроэлектронике, где очень мелкие детали, робот справится с работой намного точнее и быстрее. Особенно там, где размер деталей меньше толщины человеческого волоса.



РОБОТЫ НА КОНВЕЙЕРЕ Роботизированная линия сварки



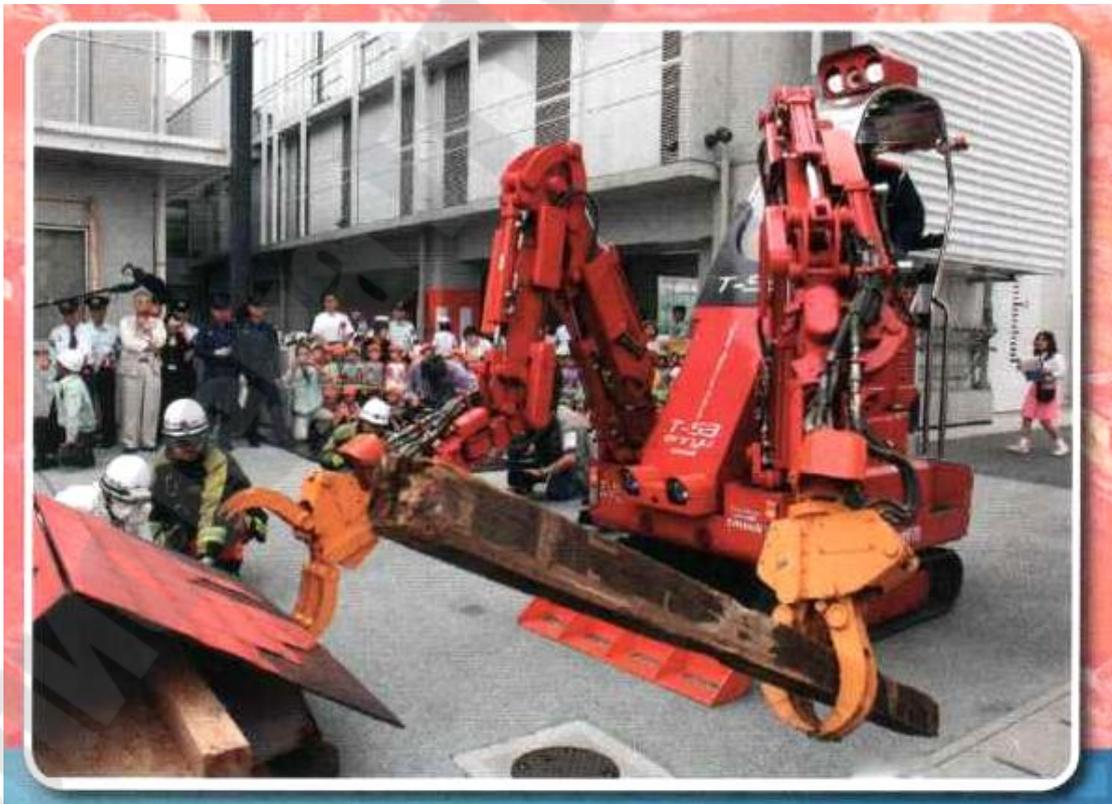
РОБОТИЗИРОВАННЫЙ СКЛАД

Когда на склад поступают детали, робот укладывает их на стеллаж и запоминает, где они лежат и сколько их. Когда с конвейера поступает команда, то робот достаёт нужное количество деталей и отправляет их в работу. Если запасы уменьшились, он сообщит в другой цех или на другой завод, чтобы изготовили и прислали ещё. Так роботы заменили грузчиков, кладовщиков и учётчиков, которые записывали, где что лежит, и следили, чтобы всего было в достатке.





Окрасочный робот



Монтажный робот

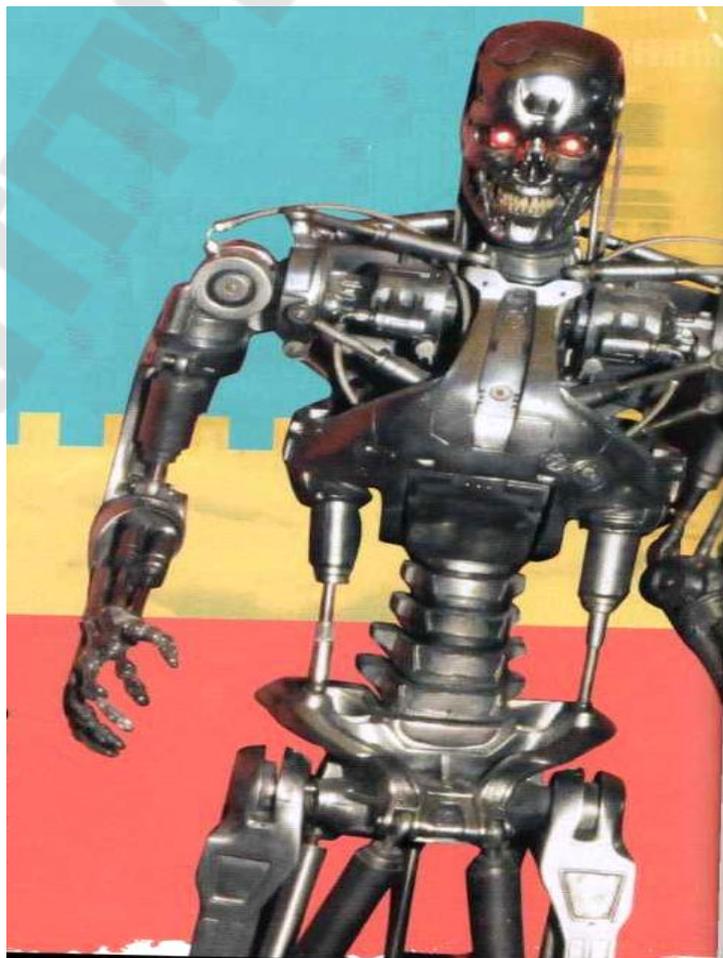


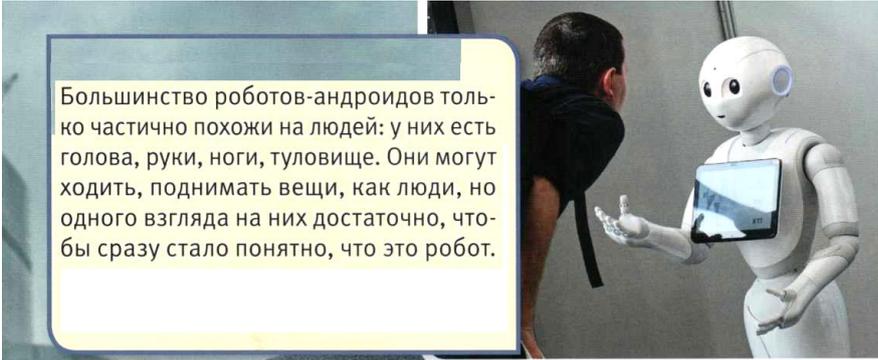
АНДРОИДЫ

В последние годы инженеры создали роботов, очень похожих на людей, — андрондов. Они не только могут разговаривать и двигаться как люди. У них есть лица — такие же, как у человека. Они улыбаются, смеются, хмурятся или плачут как человек.

РОБОТЫ КАК ЛЮДИ

Пока ещё роботов, которые точь-в-точь похожи на людей, изготавливают ради экспериментов, чтобы понять, насколько учёные и изобретатели смогут повторить облик и поведение человека. Скорее всего, таких роботов будут использовать для работы в справочных службах или для ухода за больными и одинокими людьми.





Большинство роботов-андроидов только частично похожи на людей: у них есть голова, руки, ноги, туловище. Они могут ходить, поднимать вещи, как люди, но одного взгляда на них достаточно, чтобы сразу стало понятно, что это робот.



Большинству людей не очень нравятся роботы, которые похожи на человека. Поэтому инженеры обычно и не стремятся придать роботам человеческий облик. Лучшее к человекоподобным роботам относятся в Японии. В этой стране «обитает» больше всего роботов, похожих на людей. Иногда они даже читают новости по телевизору.



РОБОТЫ ЕЩЁ НЕ ВСЁ УМЕЮТ

Пока роботы-андроиды могут выполнять какую-то одну работу. Так, они не умеют быстро переключаться с одного занятия на другое, например приехать домой на машине и затем поговорить с соседями, спеть песню и станцевать танец.





Робот в аэропорту



Подводный робот



РОБОТ-ПЫЛЕСОС

Самый известный домашний прибор-робот. Современные пылесосы убирают дом без нашей помощи. Они в нужное время выезжают со своей станции, где заряжают аккумуляторы, и отправляются пылесосить и мыть наши комнаты. Пылесосы запоминают форму комнаты и места, где стоят разные предметы. Если пол очень грязный, роботы-пылесосы могут его помыть.

РОБОТ — МОЙЩИК ОКОН

Этот маленький робот следит за чистотой окон в доме. Как только стёкла загрязнились, он начинает работать — остаётся только заранее залить в него воду и моющее средство.



Современные мультиварки, хлебопечки и другие кухонные приборы также можно считать роботами. Достаточно положить в них сырые продукты, сказать или написать, что ты хочешь сегодня на обед или на ужин, — и через некоторое время можно доставать готовое блюдо. Прибор сам взвесит продукты, добавит, сколько надо, соли, специй и воды и приготовит еду.



СТИРАЛЬНЫЕ И ПОСУДОМОЕЧНЫЕ МАШИНЫ

В современные машины достаточно загрузить грязное бельё или посуду. Они сами определяют, что вы туда положили, и выберут нужную программу, чтобы бельё или посуда стали чистыми. А когда закончат работу, скажут тебе об этом человеческим голосом.





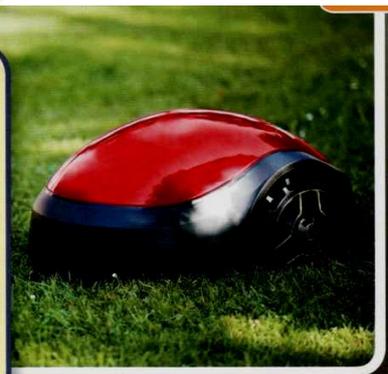
УМНЫЙ ДОМ

Когда хозяев нет, умный дом будет наблюдать за порядком. В случае опасности вызовет полицейских или пожарных. Дом запомнит привычки своих хозяев: какую температуру воздуха они любят, когда включают свет, какие фильмы смотрят по выходным. А ещё он сможет управлять всеми домашними приборами. Например, получив сообщение от холодильника, что закончилось молоко, — закажет его в ближайшем магазине. Дом сможет и поговорить с хозяином, и рассказать сказку на ночь.

РОБОТ-САДОВНИК

Газонокосилка, которая знает размеры и форму лужайки, выезжает на работу, когда трава подросла. Скошенную траву робот складывает в специальный контейнер.

Другая система следит за влажностью земли и, если надо, включает систему полива, которая польёт растения настолько, насколько нужно.



ДОМАШНИЕ РОБОТЫ БУДУЩЕГО

Инженеры уже сейчас создают домашних роботов, похожих на людей. Такие роботы смогут убирать разбросанные игрушки, подметать пол или класть продукты в холодильник.





РОБОТЫ-ХИРУРГИ

Уже сейчас роботы выполняют сложные операции лучше, чем люди. Если человек допустит ошибку, или у хирурга дрогнет рука, или он замешкается, то жизнь больного будет под угрозой. Роботы же никогда не ошибаются. В некоторых случаях требуется микроскопическая точность, которая человеческой руке просто недоступна.

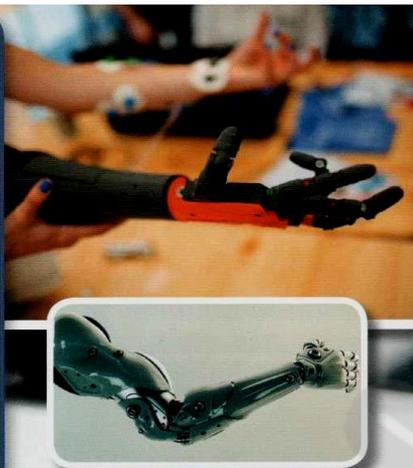
РОБОТЫ ВОЗВРАЩАЮТ ЗРЕНИЕ

Современные технологии могут вернуть зрение слепым. Специальная видеокамера передаёт изображение прямо в мозг больного, и он начинает видеть. Пока картинка ещё черно-белая и размытая, но технологии не стоят на месте.



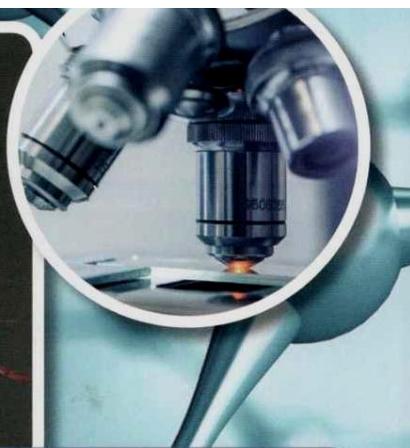
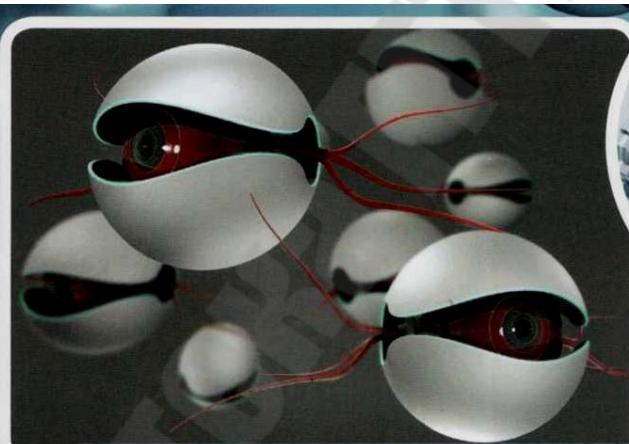
РОБОТЫ-ПРОТЕЗЫ

Благодаря кибернетике больные могут вернуть себе утраченные части тела. В медицине стали использоваться бионические протезы, которыми человек может управлять при помощи собственной нервной системы. Сейчас они уже не только повторяют движения руки или ноги, но и передают в мозг ощущения. С искусственной рукой человек может ощутить прикосновения, распознать, горячий предмет или холодный, понять, какой он на ощупь.



РОБОТЫ-МЕДСЕСТРЫ

Эти роботы знают, какому больному какое лекарство прописано и когда его надо принимать. В назначенное время они придут в палату и выдадут нужные таблетки, а заодно и поговорят с человеком. Спросят, как он себя чувствует, нужно ли ему что-нибудь. И если нужно — привезут и сообщат врачу, на что жалуется больной.



САМЫЕ МАЛЕНЬКИЕ РОБОТЫ В МИРЕ — НАНОРОБОТЫ

Они состоят из нескольких молекул. И рассмотреть их возможно только под специальным электронным микроскопом. Пока ещё нанороботы не такие совершенные, как их большие братья, но учёные уже научили их не только выполнять определённую работу, но и изготавливать других таких же роботов. А управлять нанороботами можно с помощью звука — им не нужны провода.

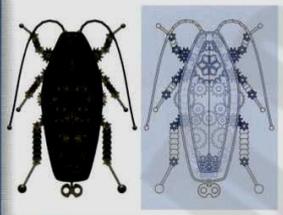
НАНОРОБОТЫ В МЕДИЦИНЕ

Учёные считают, что нанороботы будут использоваться прежде всего в медицине. Роботы, запущенные в кровеносную систему обычным уколом, смогут добраться до больного места, сделать мини-операцию или доставить лекарство. А когда они выполняют всю работу, то просто растворятся.



РОБОТЫ-НАСЕКОМЫЕ

Изобретение робота-таракана в ближайшие годы изменит борьбу с этими насекомыми. Маленький робот может заманивать тараканов в ловушку, и тогда станут ненужными химические яды, которые вредны и для людей.



ЛЕТАЮЩИЕ РОБОТЫ

Роботы-стрекозы, роботы-пчелы умеют летать, как живые насекомые. Пока ещё люди не создали очень маленькие и лёгкие аккумуляторы, и летающие роботы крепятся к источнику питания проводами. Но если надо опылить цветы в оранжерее, роботы успешно с этим справятся: они сами найдут нужный цветок и правильно приземлятся на него.



РОБОТЫ-РАЗВЕДЧИКИ

Самыми первыми на место катастрофы прибывают роботы, потому что людям необходимо узнать, что же произошло. Первые роботы управлялись оператором, который давал команду, куда им двигаться, где повернуть, как при помощи механических рук-манипуляторов расчистить проход спасателям. Со временем роботы сами научились определять свой путь.



РОБОТЫ-ПОЖАРНЫЕ

Эти роботы могут проникнуть внутрь горящего здания и залить водой или огнегасящей пеной именно то место, которое горит, отключить электричество или перекрыть трубопроводы. Поскольку они сделаны из огнестойких материалов, то могут работать прямо в огне.





Робот-спасатель



РОБОТЫ-РАЗВЕДЧИКИ

Военные используют этих роботов для незаметного проникновения в тыл врага, чтобы они передавали оттуда секретную информацию. Размер такой робот может быть с таракана или муравья, его очень трудно заметить. Если «разведчика» «возьмут в плен», он просто взорвётся.

РОБОТЫ-САПЁРЫ

Чтобы очистить поле от мин, уже давно используют машины с дистанционным управлением. Даже если такая машина подорвётся на mine, люди не пострадают.



Роботы-воины способны самостоятельно обнаруживать противника и открывать по нему огонь, не дожидаясь команды от человека-оператора.



ПОИСКОВЫЕ РОБОТЫ

Они работают во время землетрясений, взрывов или в горах после схода снежных лавин — ищут там людей. Своими чувствительными датчиками поисковые роботы способны уловить тихое дыхание попавшего в снежную ловушку человека и спасти его.

ЧЕЛОВЕКООДОБНЫЕ РОБОТЫ

Как человек, такие роботы-спасатели могут открыть дверь, закрыть кран или присоединить пожарный шланг. Они умеют обращаться с предметами, которые были созданы для людей.



Робот-сапер

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

Они умеют двигаться по заданному программой маршруту. Эти самолёты маленькие и незаметные для врага, они совершают недоступные обычным самолётам манёвры, потому что не боятся больших перегрузок.



АВТОМАТИЧЕСКИЕ РАКЕТЫ

Этой ракете достаточно указать, где находится и как выглядит цель, — она сама долетит до нужного места и уничтожит объект.



СОВРЕМЕННОЕ СНАРЯЖЕНИЕ

В современном снаряжении солдаты похожи на роботов. Благодаря разным приборам в таком костюме солдат сможет даже в темноте увидеть противника и определить, какое до него расстояние. С помощью компьютера он узнает, какая военная техника перед ним. Радиосвязь поможет понять, что происходит вокруг.



РОБОТ-ПАТРУЛЬНЫЙ

Главная его задача — двигаться по улицам и следить за порядком. У него можно спросить дорогу, если вы потерялись. А в некоторых городах есть районы, в которые полицейские боятся заходить из-за преступников, а роботам-полицейским там не страшно.



ЛЕТАЮЩИЕ РОБОТЫ

Летающие роботы следят за порядком на улицах сверху, и им видно всё. А ещё они могут управлять дорожным движением — если на улице пробка, они переключают светофоры так, чтобы машины объезжали её.





ПОЛИЦЕЙСКИЕ САПЁРЫ

Полицейские сапёры отличаются от военных сапёров тем, что им приходится трудиться в городе. При помощи руки-манипулятора они могут открыть дверцу машины и обезвредить или извлечь опасный предмет из салона. При этом их движения должны быть такими точными и плавными, чтобы бомба не взорвалась у них в «руках».



РОБОТЫ-СИДЕЛКИ

Уже сейчас в больницах Японии используют роботов-сиделок. Они могут принести больным людям лекарства, еду, измерить температуру или давление. А если надо, то поднимут больного, который не может сам передвигаться, пересадят его в кресло-качалку и отвезут на процедуры.

РОБОТЫ-НЯНИ

Роботы-няни присматривают за маленькими детьми: они могут рассказать ребёнку сказку, спеть песенку, а если они заметят, что у малыша плохое настроение, то постараются его развеселить. И конечно же, не разрешат ему делать то, что нельзя.



РОБОТЫ-КОМПАЬОНЫ

Пока эти роботы есть только в Японии. Это настоящее спасение для одиноких пожилых людей. Робот следит за самочувствием человека, за его настроением. Он может быть хорошим собеседником, потому что запоминает всё, что ему рассказывал человек, и может использовать это в разговоре.



КУКЛА-РОБОТ

Она просто похожа на робота: с квадратной головой и антеннами, как у больших роботов. Иногда внутри у неё есть моторчик, тогда она может двигаться. Более сложные куклы умеют произносить какие-то фразы или смеяться.



ТРАНСФОРМЕРЫ

Они пришли к нам из фантастических фильмов. Из «человека» игрушка превращается в машину или самолёт. А самые «крутые» трансформеры могут превращаться даже в несколько разных механизмов.



РОБОТЫ-ЗАПОМИНАЛКИ

Чтобы обучить такого робота какому-то действию, нужно нажать на кнопку «запись» и подвигать руками, ногами, антенной или другими частями робота. После этого он в точности повторит всё, что ты ему показал.



ОБУЧАЕМЫЕ РОБОТЫ

Эти игрушки можно уже назвать настоящими роботами. Благодаря компьютерной программе они могут учиться сами — например запомнить, где находится препятствие, чтобы объехать его. Такие роботы могут реагировать на твои слова, принимая речь через микрофон, или на движения — «видя» их с помощью встроенной видеокамеры.



РОБОТЫ-ЖИВОТНЫЕ

Как настоящие животные, эти милашки выполняют команды: «Лежать», «Сидеть», «Голос». В зависимости от того, во что ты с ними будешь играть, они могут быть «добрыми», «задумчивыми», «игривыми» или «злыми».



AIBO

Самой известной куклой-роботом стала собачка AIBO. Пёс виляет хвостом, радуясь хозяину, играет, приносит пластиковую косточку. Но для начала AIBO нужно воспитать, научить, как вести себя в доме и играть. Когда его только приносят из магазина, он ничего не умеет. А если про него забыть и не заниматься с ним, то он очень быстро перестанет играть и охранять дом.



СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	2
1. Актуальность роботов.....	6
2. Исторические аспекты развития робототехнических систем.....	11
2.1 Эпоха каменных инструментов (орудий труда).....	11
2.2 Античный период.....	22
2.3.Получение металлов.....	45
2.4.Станки.....	61
2.5. Средние века.....	62
2.6. Основные особенности мануфактурного производства.....	82
3. Создание с роботов.....	123
3.1.Из истории вычислительной техники и программирования.....	123
3.2.Суперкомпьютеры.....	130
3.3. Нейронные сети и искусственный интеллект.....	134
3.4. О возможностях вычислительных машин.....	143
3.5.От локальной сети к глобальной.....	154
3.6. Устройство роботов.....	159
4. От автоматизированного производства к безлюдным предприятиям.....	216
4.1. Разработка САПР.....	216
4.2. Роль роботов в автоматизированном производстве.....	224
5. Применение роботов.....	238
5.1. Беспилотные космические летательные аппараты.....	238
5.2 Роботы на Луне.....	249
5.3. Планеты Солнечной системы изучают роботы.....	254
5.4 Роботы помогают окружающей среде.....	264
Список литературы.....	269
Приложение.....	270