МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИРЭА – РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.А. АЛЕХИН

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ПРОФЕСИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Москва – 2019

Введение..... 8

Глава 1. Понятийный аппарат науки, научных исследований, профессии, специализации 10

1.1. Определение и назначение науки 10

1.2. Проблема объекта и субъекта познания 15

Глава 2. Методология научных исследований 20

2.1. Методы современной науки 20

2.2. Методологические особенности современной науки 22

2.2.1. Дифференциация и интеграция.....22

2.2.2. Системный подход.....23

2.2.3. Синергетическая парадигма.....24

2.2.4. Эволюционизм.....25

Глава 3. Характерные особенности развития и черты современной науки.27

3.1. Естественные и технические науки 27

3.2. Техническая наука как новая форма современной научно-технической деятельности 30

Глава 4. Этапы становления и развитие технических наук.....31

4.1. Роль и значение технических наук 31

4.2. Развитие технических наук в XX веке.....33

4.3. Закономерности и тенденции развития современного научно-технического знания 35

4.4. Структура технических наук и основные их разделы 36

4.5. Инженерная деятельность.....38

4.6. Инженерные исследования.....41

4.7. Особенности современной инженерной деятельности.....43

4.8. Системотехническая деятельность 44

4.9. Математическое моделирования 45

4.10. Социотехническое проектирование.....46

4.10. Интеграция технических наук с инженерной деятельностью.....47

Глава 5. Область профессиональной деятельности специалистов вычислительной технике и информационным системам.....49
5.1. Понятия профессия.....49
5.2. Специальность и квалификация 49
5.3. Сущностные признаки и характеристики понятия профессия 50
5.4. Профессиональное сознание.....51
5.5. Профессиональная деятельность 51
5.6. Профессионал и специалист 52
5.7. Профессионализм 53
Глава 6. История развития вычислительной техники и систем управления 55
6.1. Зарождение вычислительной техники 55
6.2. Первые ЭВМ.....55
6.3. Электронные вычислительные машины 1-го поколения (ламповые)...58
6.4. Первые отечественные ЭВМ 59
6.5. Монтаж электронной аппаратуры 62
6.6. ЭВМ второго поколения.....65
6.6.1. Появление и развитие полупроводниковых приборов.....65
6.6.2. Вычислительная техника 2-го поколения 69
6.7. Система А-35 71
Глава 7. Зарождение и становление отечественной микроэлектроники 74
7.1. Гибридная микроэлектроника 74
7.2. Полупроводниковая микроэлектроника 76
7.3. Вычислительная техника 3-го поколения.....80
7.3.1. Модулярная арифметика в Зеленограде.....80
7.3.2. Супер-ЭВМ 5Э53 82
Глава 8. 4-е поколение вычислительной техники 85
8.1. Микропроцессоры и системы на кристалле.....85

8.2. Микроэлектромеханические системы (МЭМС) 88
8.2.1. Микромеханика.....88
8.3. Разработка и производство полупроводниковой продукции.....89
8.4. Проектирование. Отечественные САПР.....89
8.5. Изготовление кристалла ИС 90
8.6. Вычислительная техника 4-го поколения.....92
8.6.1. Семейство микро-ЭВМ ≪Электроника НЦ-хх≫ 92
Глава 9. Основные направления и тенденции развития вычислительной техники и систем управления 95
9.1. Главные направления развития вычислительной техники 95
9.2. Классы вычислительной техники 95
9.3. Пятое поколение.....96
9.4. Тенденции развития вычислительной техники 98
9.5. Каким видится будущее компьютерной техники?.....99
9.5.1. Молекулярный компьютер 99
9.5.2. ДНК - компьютеры 101
9.5.3. Оптический компьютер 104
9.5.4. Квантовая компьютерная революция 107
9.5.5. Один бит за все цифры.....108
9.5.6. Создан однофотонный транзистор квантовых компьютеров.....110
9.6. Компьютерные параллельные системы.....114
9.7. Нейровычислительные системы 116
9.8. Рабочие станции 117
9.9. Шестое поколение вычислительной техники (1990 -) 122
Глава 10. Интернет вещей 125
10.1. Понятие интернета вещей.....125
10.2 Базовые принципы IoT.....126
10.3. Стандартизация IoT 129

10.4. Архитектура IoT 131
10.5. Веб вещей WoT 133
10.7. Когнитивный Интернет вещей CIoT 134
10.8. Способы взаимодействия с интернет-вещами 135
10.9. Направления практического применения IoT 139
Глава 11. Беспроводные сенсорные сети WSN 140
11.1. Основные понятия сенсорных сетей. 140
11.2. Базовая архитектура сенсорной сети 142
11.3. Узлы беспроводной сенсорной сети 143
11.4. Протоколы и технологии передачи данных в БСС 146
11.5. Типы узлов БСС 147
11.6. Типовые архитектуры и топологии БСС 150
11.7. Режимы работы БСС 151
11.8. Протоколы маршрутизации в БСС 152
11.9. Мобильные БСС 153
11.10. Проблемы реализации БСС 154
11.11. БСС и Интернет вещей 155
11.12. Классификация технологий передачи данных в IoT 155
11.13. Радиочастотная идентификация 159
Глава 12. Индустрия 4.0 161
12.1. Содержание концепции «Индустрия 4.0» 161
12.2. Основные технологии «Индустрии 4.0» 163
12.3. Интернет вещей в «Индустрии 4.0» 164
Глава 13. Системы автоматизированного проектирования (САПР) и системы сопровождения жизненного цикла изделий (CALS) 167
13.1. Ключевые задачи современного производства 167
13.2. Этапы жизненного цикла промышленных изделий 167

13.3. Основные виды и назначение автоматизированных систем проектирования.....168
13.4. Системы управления данными об изделии PDM.....171
13.5. Концепция непрерывного сбора информации и поддержки.....174
жизненного цикла изделия.....174
Заключение.....176
Библиография.....178

Введение

Основная образовательная программа магистратуры по направлению подготовки 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» предусматривает развитие у обучающихся личностных качеств, а также формирование общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

Область профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу магистратуры в МИРЭА – Российский технологический университет, включает:

теоретическое и экспериментальное исследование научно-технических проблем и решение задач в области разработки технических средств и программного обеспечения компьютерных вычислительных систем и сетей, автоматизированных (в том числе распределённых) систем обработки информации и управления, а также систем автоматизированного проектирования и информационной поддержки изделий.

Объектами профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу магистратуры, являются:

вычислительные машины, комплексы, системы и сети; автоматизированные системы обработки информации и управления;

системы автоматизированного проектирования и информационной поддержки жизненного цикла промышленных изделий;

программное обеспечение средств вычислительной техники и автоматизированных систем (программы, программные комплексы и системы);

математическое, информационное, техническое, лингвистическое, программное, эргономическое, организационное и правовое обеспечение перечисленных систем.

Выпускники, освоившие программу магистратуры, будут заниматься научно-исследовательской и проектной деятельностью.

Профессиональная деятельность магистров - выпускников РТУ -- МИРЭА многообразная, интересная и исключительно важная. Чтобы достичь успеха, надо быть компетентным во многих областях знаний, освоить методологию научных исследований, знать историю развития техники, постоянно следить за современными тенденциями научно – технического прогресса, участвовать в создании новой техники и технологий.

Важно научиться правильно взаимодействовать с сотрудниками в коллективе, обладать культурой мышления, способностью анализировать и оценивать уровни своих компетенций в сочетании со способностью и готовностью к саморегулированию дальнейшего образования и профессиональной мобильности.

В учебном пособии мы обсудим важные философские проблемы науки, научных исследований, профессии, специализации, методологии научных исследований. История развития науки дает много поразительных примеров выдающихся открытий и изобретений. Трудом ученых и инженеров нашей страны были созданы уникальные технические системы, достигнуты выдающиеся результаты в освоении космоса, повышении обороноспособности государства и технологического уровня производства.

Сегодня перед выпускниками университетов стоит сложная задача создания современных уникальных образцов техники на новых принципах и технологиях. Широкое внедрение цифровых информационных технологий, средств инфокоммуникаций, встроенных вычислительных систем, оптических систем связи, беспроводных сенсорных сетей, роботов, искусственного интеллекта открывает для выпускников широкое поле возможностей приложения своих знаний.

Мы обсудим эти важные области науки и техники, чтобы помочь Вам выбрать для себя перспективные направления профессиональной деятельности.

Желаю Вам успехов !

Доктор техничексих наук, профессор В.А. Алехин

Глава 1. Понятийный аппарат науки, научных исследований, профессии, специализации

1.1. Определение и назначение науки

Общепринято считать, что наука – это сфера профессиональной деятельности, в которой осуществляется разработка и систематизация объективных знаний о действительности. Наряду со знаниями общего характера об объектах, наука формирует знания, в том числе, и о методах, принципах и приёмах научной деятельности.

На сегодня нет однозначного определения науки. В различных научно-технических, литературных источниках их насчитывается более ста [1, 2].

Рассмотрим только выборочно некоторые определения термина «наука»:

1. Наука – это система знаний о природе, обществе, мышлении, об объективных законах их развития.

2. Наука – это сфера человеческой деятельности, направленная на получение новых знаний о природе, обществе и мышлении.

3. Наука – это сфера исследовательской деятельности людей, систематизации объективных данных о реальном мире, а также открытии и выработке новых.

4. Наука – это непрерывно развивающаяся система знаний объективных законов природы, общества и мышления, которая сохраняется и развивается усилиями учёных.

5. Наука – это сфера человеческой деятельности, функция которой накопление и обработка объективных знаний о действительности, включающая в себя как деятельность по получению нового знания, так и сумму знаний, лежащих в основе научной картины мира.

Во всех этих определениях понятие «наука» имеет несколько основных значений.

Во-первых, под наукой понимается сфера человеческой деятельности, направленной на выработку и систематизацию новых знаний о природе, обществе, мышлении и познании окружающего мира.

Во втором значении наука выступает как результат этой деятельности – система полученных научных знаний.

В-третьих, наука понимается как одна из форм общественного сознания, социальный институт. В последнем значении она представляет собой систему взаимосвязей между научными организациями и членами научного общества.

Эти значения определяют три основные концепции науки: наука как знание, наука как деятельность, наука как социальный институт.

Современная наука представляет собой органическое единство этих трёх концепций. Здесь деятельность – её основа, знание – системообразующий фактор, а социальный институт – способ объединения учёных и организация их совместной деятельности.

Непосредственные *цели науки* – описание, объяснение и предсказание процессов и явлений реальной действительности, составляющих предмет ее изучения на основе открываемых ею законов.

Задачи науки:

собирание, описание, анализ, обобщение и объяснение фактов;

обнаружение законов движения природы, общества, мышления и познания;

систематизация полученных знаний;

объяснение сущности явлений и процессов;

прогнозирование событий, явлений и процессов;

установление направлений и форм практического использования полученных знаний.

Функции науки:

Производительная функция призвана для внедрения в производство нововведений, инноваций, новых технологий, форм организации и т.д. В связи с этим говорят и пишут о превращении науки в непосредственную производительную силу современного общества, о науке как особом «цехе» производства, а учёных относит к производительным работникам.

Познавательная функция задана самой сутью науки, главное назначение которой познание природы, общества и мышления, то есть производство нового научного знания.

Мировоззренческая функция определяет разработку научного мировоззрения и научной картины реального мира, исследование рационалистических аспектов отношения человека к миру, обоснование научного миропонимания.

Образовательная функция заключается в том, что наука является заметным фактором культурного развития людей и образования. Ее достижения заметно воздействуют на весь учебно-воспитательный процесс, на содержание образовательных программ, учебных планов, учебников, на технологию, формы и методы обучения, в том числе и магистров.

Прогностическая функция – одна из важнейших функций науки. Ее ценность в том, в какой мере она может предугадать будущие события. На предвидении фактически основывается вся практика человека. Включаясь в исследовательскую деятельность, человек прогнозирует (предвидит) получение некоторых вполне определённых результатов .Так, например, Д.И. Менделеев на основе открытого им периодического закона предсказал существование нескольких химических элементов, которые в то время не были известны.

Науку сегодня можно рассматривать и как систему, состоящую:

из теории;

методологии;

методики и техники исследований;

практики внедрения полученных результатов.

Методологию (греч. μέθοδος — путь исследования или познания, от μετά- + ὁδός «путь» и от греч. Λόγος – слово, мысль, понятие) в самом общем виде можно представить как совокупность общих мировоззренческих положений и принципов, обуславливающих определённую позицию исследователей, а также научное обоснование методов познания исследуемых явлений и процессов объективной действительности. Другими словами, *методологию можно определить в виде системы принципов, методов и правил теоретического и практического построения и организации деятельности в сфере науки.*

Методологию можно рассматривать по следующим уровням:

по гносеологическому уровню;

по мировоззренческому уровню;

по научно-содержательному уровню и

по методическому уровню.

Гносеология (от греческого гносис – знание и логос – учение) или эпистемология (от греч. эпистеме – знание) – это философская теория познания. Гносеологию интересуют в первую очередь самые общие и необходимые признаки и закономерности познавательной деятельности, независимо от того, кем и в каких конкретных условиях она осуществляется. Задача её состоит в том, чтобы дать предельно общее представление о познании составить его целостную картину, свободную от деталей и частностей. Для этого гносеология должна исследовать самые различные способы познавательной деятельности, начиная с повседневной житейской практики и кончая сложнейшими формами научного или мистического познания.

Философские теории объясняют, почему вообще возможно человеческое познание, и тем самым как бы «оправдывают» существование философских теорий этого процесса. Важнейшими из них можно считать следующие:

1. *Познание* – это процесс приобретения человеком знаний о мире и о себе самом как важнейшей «частичке» этого мира. При этом знания трактуются как верные сведения о реальности, в то время как ошибочные сведения считаются заблуждениями, а отсутствие достоверных знаний о чем-либо – «незнанием».

Стремление к знанию – важнейший ориентир познавательной деятельности человека: следует «больше любить знание, чем незнание»

2. Предпосылкой познавательной деятельности является реальность мира и человека с его духовной жизнью. Из реальности бытия человека в мире вытекает реальность процесса человеческого познания.

3. Познание – в той или иной его форме – укоренено в самой сущности жизни, присуще всем живым существам и служит их выживанию в мире.

Даже самая простейшая жизнь не могла бы приспособиться к окружающей её среде, если бы не смогла распознавать и идентифицировать явления и связи своего жизненного мира.

Познание, таким образом, есть необходимый атрибут человеческого бытия, естественное отношение человека к миру, а его результаты – знания – составляют для человека важнейшую жизненную ценность.

Эти аспекты познания специально рассматриваются сейчас в так называемой эволюционной эпистемологии – направлении в современной гносеологии, которое возникло благодаря успехам эволюционной биологии, генетики человека, когнитивной психологии, теории информации и компьютерной науки.

В книге немецкого этолога Конрада Лоренца «Кантовская концепция a ргіогі в свете современной биологии» (1941) приводились убедительные аргументы в пользу существования у животных и человека врожденного знания, материальным базисом которого выступает центральная нервная система. Идеи К. Лоренца были развиты психологом Д. Кэмпбелом (1974), который предложил рассматривать знание не как фенотипический признак, а как формирующий этот признак процесс.

Познавательная деятельность человека зарождается на ранних этапах становления человеческого общества в процессе практического преобразования действительности. У наших далёких предков познавательная деятельность

первоначально была неотделимой от практической, вплетённой в неё, и в силу этого выступала как «практическое познание» (или «обыденное познание»).

Однако постепенно возникала потребность познания таких законов природы, общества, своей собственной жизни, которые выходили за пределы весьма ограниченной практики и с помощью которых можно было бы объяснить природные и социальные явления для того, чтобы адаптироваться к миру, ориентироваться в нем и успешно преобразовывать его. На начальном уровне эта потребность могла быть удовлетворена только в мифологической, а позднее – в религиозной, образной и фантастической форме.

В зависимости от характера знания, исторического и социокультурного контекста, в котором формируется то или иное знание, соответствующих средств и методов выделяются такие формы познания, как мифологическое, религиозное, художественное и философское. В по-следующем, по мере накопления знаний в различных областях, познавательная деятельность из образно - мифологической стала научно-теоретической, приобрела дифференцированный характер в зависимости от предмета познания. В реальном процессе познания в качестве *предмета познания* выступали и выступают, во-первых, явления природы, во-вторых, социальный мир, различные феномены общества, в-третьих, человек, его внутренний мир, мир его чувств, переживаний, мышления. В соответствии с этим сформировались:

естественные науки, изучающие разные формы бытия природы;

общественные, изучающие многообразные аспекты человеческих отношений, культуры, истории;

гуманитарные, акцентирующие внимание на отдельных феноменах человеческого бытия.

Существуют и другие классификации наук. Например, в зависимости от связи с практикой науки делят на фундаментальные (теоретические), которые выясняют основные законы объективного и субъективного мира и прямо не ориентированы на практику, и прикладные, которые направлены на решение технических, производственных, социально-технических проблем.

В ходе общественного разделения труда выделилось пять взаимосвязанных научных секторов науки: *академическая, вузовская, отраслевая, производственная и вневедомственная*.

В академических и вузовских структурах прежде всего проводят фундаментальные исследования по важнейшим направлениям естественных,

технических и общественных наук. Это позволяет создавать теоретические основы для разработки принципиально новых видов техники и технологии.

К отраслевым научным учреждениям относят головные научно-исследовательские институты, конструкторские организации, а также опытные производства, подчиняющиеся непосредственно министерствам и ведомствам.

Производственная наука развивается в центральных заводских лабораториях, специальных и опытно-конструкторских бюро, экспериментальных и опытных цехах, что позволяет совершенствовать технологию, получать продукцию высокого качества.

В последние годы получает развитие *вневедомственная наука*. Она реализуется в малых формах: консультативных структурах, научно-технических организациях, научных и инженерных обществах, центрах экспертизы.

В процессе развития науки происходит все более тесное взаимодействие естественных, гуманитарных (социальных) и технических наук. Возрастает активная роль науки во всех сферах жизнедеятельности людей, повышается ее социальное значение.

Наука как сфера специальной деятельности людей растёт, прежде всего, численно по объёму. Так, численность учёных в мире в начале XX века – 100 тыс. человек, сейчас более пяти миллионов.

В XX столетии мировая научная информация удваивалась за 10-15 лет, а в некоторых областях науки каждые 5-7 лет. Так, если в 1900 г. было около 10 тысяч научных журналов, то в настоящее время их уже несколько сотен тысяч. Свыше 90% всех важнейших научно-технических достижений приходится на XX в.

Такой колоссальный рост научной информации создаёт особые трудности для выхода на передний край развития науки. Учёный сегодня должен прилагать огромные усилия для того, чтобы быть в курсе тех достижений, которые осуществляются даже в узкой области его специализации. А ведь он должен ещё получать знания из смежных областей науки, информацию о развитии науки в целом, культуры, политики, столь необходимые ему для полноценной жизни и работы и как учёному, и как просто человеку. Сегодня в этом большую помощь оказывает Интернет.

1.2. Проблема объекта и субъекта познания

Функционирование и историческое развитие эталонов и норм познания изучает *теория познания* как раздел в рамках философского знания.

Основными проблемами *теории познания* являются:

проблема познаваемости мира, которую можно выразить в форме вопроса: «Познаваем ли мир?»;

проблема субъекта и объекта познания;

проблема структуры познавательного процесса;

проблема взаимоотношения чувственного и рационального в процессе познания;

проблема истины и её критериев.

Важнейшими компонентами познавательной деятельности являются *субъект* и *объект познания*. Субъект познания – носитель деятельности, сознания и познания – это человек, который познает выделенный в процессе практической и познавательной деятельности фрагмент объективной реальности, который овладел созданным человечеством миром и формами культуры, активно использует накопленные до него знания, сохраняет их и генерирует новые.

Определяющую роль в формировании конкретного индивидуального субъекта познания играет выработанная обществом культура, своего рода «общественный дух», «неорганическая природа», выступающая для каждого отдельного индивида во внешне данных формах культуры. Овладевая этими формами, отдельный индивид приобщается к общественному субъекту (обществу с его миром культуры), делает себя его частью и постепенно выступает как познающий субъект.

Объект познания – это такой фрагмент реальности, который противостоит субъекту в его познавательной деятельности. Объект познания является такой частью объективной реальности, которая находится во взаимодействии с субъектом, которая выделена им при помощи практической и познавательной деятельности, наработанных обществом на определённом этапе его развития. Так, например, элементарные частицы стали объектом познавательной деятельности только на рубеже XIX–XX вв., когда наука и практика именно этого времени сделали возможным их изучение.

Познание, таким образом, есть особое отношение между субъектом и объектом.

В этом смысле можно говорить о следующих основных философских моделях субъект - объектного отношения:

1. Объектно-натуралистическая модель, в которой главная роль отводится, по существу, объекту познания, а само познание понимается как процесс отражения объекта в сознании субъекта. Её истоки лежат в античной философии,

хотя сами понятия субъекта и объекта познания стали отчётливо применяться в гносеологии только в Новое время.

2. Субъектно-рефлексивная модель, в которой предпочтение отдаётся творческой активности субъекта, его теоретическому осмыслению (рефлексии) объекта и самого процесса познания.

Истоки этой модели обнаруживаются уже в философии Рене Декарта (1596-1650), который обратил внимание на проблему достоверности познания и обоснования знаний, получаемых субъектом. Её решение философ ищет в сфере сознания субъекта: именно в ней можно обнаружить теоретический базис познания. В основе же этой достоверности лежит мысль о собственном существовании субъекта: «Я мыслю, значит, существую» – самая несомненная и достоверная истина.

3. Современная модель – называют полисубъектно - деятельностной. Её истоки лежат в двух предыдущих концепциях, но основное содержание сложилось в XIX–XX вв. в результате развития философии и научного знания. Сущность этой модели можно свести к следующим основным тезисам:

Определяющим моментом в субъект - объектных отношениях выступает активная творческая деятельность человека, направленная на изменение объекта познания с целью раскрытая его сущности. Она складывается из материальной и духовной составляющих. Материальная деятельность (практика) связана с реальными изменениями предмета в результате определённого физического воздействия на него, духовная – с мысленными операциями с ним. Познание, таким образом, «не может быть лишь послушным отражением действительности... – оно есть также активное преображение, осмысливание бытия». Изучаемый объект представлен поэтому субъекту не в форме созерцания, а в формах деятельности, через призму применённой практики и использованного знания. Иными словами, мы знаем предметы лишь такими, какими их раскрывает наша деятельность.

Субъект познания всегда «социально окрашен». Любой человек, познающий мир, выступает частью той или иной общности людей – профессионального коллектива, социальной группы, общества всего человечества. Поэтому активное воздействие человека на предмет познания так или иначе подразумевает явное или неявное присутствие в этом процессе всех человеческих поколений, точнее, их практического и духовного наследия. Индивид, следовательно, как субъект познания есть «полномочный представитель» человечества.

Познавательная деятельность субъекта направляется и организуется определённой социокультурной программой. Она формируется под влиянием индивидуальных и общественных потребностей, целей, знаний, мировоззрения и других компонентов культуры, в поле которых действует субъект.

Именно уровень и содержание культуры, принимаемой для себя субъектом познания, «задаёт» ему определённое видение изучаемых объектов и интерпретацию полученных новых знаний.

Все компоненты познавательного отношения – субъект, его деятельность, объект познания – динамичны и историчны, изменяются с развитием общества.

Итак, сущность познавательного отношения состоит в двустороннем взаимодействии, «диалоге» субъекта и объекта познания. С одной стороны, объект физически воздействует на человека, сам «говорит» что-то о себе, и это есть необходимое, но недостаточное условие познания.

С другой стороны, субъект активно действует с познаваемым объектом, вопрошает его о том, о чем сам объект «умалчивает» (например, о законах своего бытия) и заставляет так или иначе «отвечать». Получить от объекта ответ на свои вопросы – и есть важнейший смысл познавательной деятельности субъекта.

Методический уровень представляет особый интерес для научно-технической практики, так как в настоящее время научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы представляют собой комплекс теоретических и экспериментальных исследований, которые проводятся с целью получения обоснованных исходных данных для технических решений и которые должны быть реализованы в новой продукции.

Важно освоить основные понятия научно-технической области как общие, так и конкретные, которые приняты в той или иной профессиональной области. Особую значимость приобретают такие понятия как:

метод,

методика,

способ и

технология.

Для современного этапа развития науки и техники характерно использование результатов фундаментальных исследований для решения прикладных проблем. Фундаментальные технические исследования направлены на получение новых научных знаний и выяснение фундаментальных закономерностей развития и функционирования техники и технологии, на построение технической теории.

Различные технические науки исследуют процессы функционирования структурных элементов техники как общей материальной системы, построения, производства и эксплуатации новых конкретных технических объектов. Важно подчеркнуть, что *технические науки раскрывают закономерности, принципы и методы реализации технологических процессов*.

Прикладные технические исследования, как правило, непосредственно направлены на решение различных практических, технико-технологических, инженерных проблем и задач.

Глава 2. Методология научных исследований

2.1. Методы современной науки

В самом общем смысле *метод* - означает путь к чему-либо. Проблема метода была постоянно в центре научной мысли, которая изучает систему предписаний, принципов и требований, ориентирующих субъекта для достижения определенного результата в конкретной сфере деятельности. Именно метод обеспечивает поиск истины и позволяет двигаться к поставленной цели самым коротким путем [2].

Главная функция метода заключается в регулировании познавательной и других форм профессиональной деятельности. Любой метод разрабатывается только из определенной теории, которая для него служит как бы основой.

Метод существует и развивается только в исключительно сложной диалектике субъективного и объективного при главенствующей роли последнего. В этом понимании любой метод объективен и содержателен, но он также и субъективен, так как является продолжением и завершением объективности, из которой он образован.

В современной науке используют следующие методы:

Аналитические (физические, математические и т.д.);

Онтологические (то есть учение о бытии как таковом);

Философские, среди которых самыми исходными являются диалектический и метафизический.

Диалектика представляет собой учение о наиболее общих законах развития природы, общества и познания.

Диале́ктика— метод аргументации в философии, а также форма и способ рефлексивного теоретического мышления, исследующего противоречия, обнаруживаемые в мыслимом содержании этого мышления. В диалектическом материализме — общая теория развития материального мира и вместе с тем теория и логика познания. Диалектический метод является одним из центральных в европейской и индийской философских традициях.

Дисциплинарные методы представляют собой систему приёмов, применяемых в какой-либо дисциплине, и входящей в определённую отрасль науки.

В научных методах теоретического исследования выделяются:

Формализация, представляющая собой отображение содержательного значения в формализованном языке, который создаётся для точного и краткого

выражения мыслей для исключения возможности неоднозначного понимания. Формализация имеет важное значение в уточнении научных понятий.

Аксиоматический метод представляет собой способ построения определённой научной теории, в основу которой кладутся какие-то исходные положения — аксиомы, по которым уже остальные утверждения данной теории выводятся простым логическим путём, путём доказательства.

Гипотетико-дедуктивный метод является способом теоретического исследования, суть которого состоит в создании системы дедуктивно связанных между собой гипотез, из которых в дальнейшем выводятся утверждения об имевших место эмпирических фактах.

Разновидностью данного метода является метод математической гипотезы.

В научном исследовании весьма активно используются и *общелогические* методы и приёмы исследования:

• *Анализ*, представляющий собой реальное либо мысленное разделение объекта на составные части, *синтез* же — наоборот, объединение составных частей в единое.

• *Абстрагирование* — это процесс отвлечения от каких-то свойств изучаемого явления с одновременным выделением свойств, которые интересуют исследователя.

• *Идеализация* теснейшим образом связана с абстрагированием и мысленным экспериментом и представляет собой мыслительную процедуру, которая связана с образованием идеализированных объектов, например точка или абсолютно чёрное тело и т. п.

• *Индукция* — это движения мысли от опыта, то есть от единичного — к общему — к выводам.

• *Дедукция* — процесс познания от общего к единичному.

• *Аналогия* представляет собой установление сходства в каких-то свойствах и отношениях между нетождественными объектами. Посредством выявленного в ходе исследования сходства делается умозаключение по аналогии.

• *Моделирование* — метод исследования определённых объектов через воспроизведение их характеристик на другом объекте — модели, представляющей собой аналог какого-то фрагмента действительности — оригинала модели. Важной формой моделирования является *компьютерное моделирование.*

• *Системный подход* — этот совокупность ряда методологических принципов, основой которых является рассмотрение объектов как систем.

Современная наука характеризуется рядом методологических новаций, к числу которых относятся следующие:

• Изменение характера объекта исследования с усилением роли комплексных программ в их изучении.

• Сближение естественных и социальных наук, то есть методологический плюрализм.

• Повсеместное внедрение во все частные науки и научные дисциплины идей и методов синергетики — теории самоорганизации, которая ориентируется на поиск законов эволюции различных природных явлений.

• Появление таких понятий в науке, как вероятность, информация, и постоянное взаимодействие с такими категориями, как случайность, возможность, причинность.

• Введение времени во все научные дисциплины, охват в единое целое макро- и микромиров.

• Соединение объективного мира и мира человека. К примеру, этот принцип позволяет рассмотреть Вселенную как сложнейшую систему, важнейшим элементом которой является человек.

• Увеличение уровня абстрактности и сложности формально-абстрактных методов познания.

В настоящее время наука как бы перестала быть уделом только одних учёных. Наука стала одним из важнейших источников государственных доходов, поскольку она самым непосредственным образом участвует в производстве, в создании новых технических средств и технологий, которые в свою очередь меняют среду обитания, повседневный быт людей. Знание охватывает сотни научных направлений.

2.2. Методологические особенности современной науки

К методологическим особенностям современной науки следует отмести дифференциацию, интеграцию, системный подход, *синергетическую парадигму* и эволюционизм.

2.2.1. Дифференциация и интеграция.

Дифференциация научного знания связана с возникновением науки в XVII-XVIII вв., появлением новых научных дисциплин со своим предметом и специфическими средствами познания (как известно, в античной философии не сложилось разграничения между отдельными областями исследования, не

существовало отдельных научных дисциплин, за исключением математики и астрономии).

Первыми, оформившимися в научные дисциплины, были небесная и земная механика, наряду с математикой и астрономией. Далее появились химия, геология, биология и др. Сформировался образ науки как дисциплинарно организованного знания. Дисциплинарный подход, ориентирует на изучение специфических, частных закономерностей и явлений.

Дифференциация наук в огромной степени способствовала (и способствует) возрастанию глубины и точности научного знания.

Однако, уже к концу XIX – началу XX вв. в связи с новыми открытиями в области физики, астрономии, химии, биологии, медицины становится очевидным факт, согласно которому дисциплинарный подход носит ограниченный характер.

Процесс дифференциации все в большей степени «загонял» учёных в узкие рамки отдельных областей явлений и процессов, ослабляя взаимопонимание и сотрудничество между ними, без чего невозможно движение в науке.

В связи с обозначенными моментами назрела другая тенденция – интеграция, позволяющая изучать сразу многие процессы и явления с единой, общей точки зрения. Кроме того, в процессе интеграции становится возможным использование методов одной науки в другой, в результате чего возникли такие междисциплинарные науки, как *астрофизика, биофизика, биохимия, геохимия* и т.д. В настоящее время процесс интеграции в науке усиливается, появляются все новые синтетические науки, позволяющие рассматривать объекты и явления в их глубинных взаимосвязях и, одновременно, с точки зрения общих закономерностей и тенденций

2.2.2. Системный подход.

Процесс дифференциации и интеграции в современной науке дополняется системным подходом, при котором предметы и явления окружающего нас мира рассматриваются как части и элементы единого целого, взаимодействующие друг с другом и приводящие к появлению новых свойств системы, отсутствующих у отдельных её элементов.

Главное достоинство системного принципа заключается в том, что мир в нем предстаёт как многообразие систем разнообразного конкретного содержания, объединённых в рамки единого целого.

Современная наука опирается на такие подходы и методы исследовательской деятельности, как интегративный, междисциплинарный,

комплексный и системный. К их числу относится и эволюционный подход, который в современной науке приобрёл статус глобального эволюционизма..

2.2.3. Синергетическая парадигма.

В числе междисциплинарных исследовательских направлений сегодня важное место занимает *синергетика*.

Термин «синергетика» (от греч. συν- приставка со значением совместности и ἔργον «деятельность») ввёл в научный обиход немецкий физик-теоретик Г.Хакен. В работе «Синергетика» он поясняет, что назвал так новую дисциплину потому, что хотел указать на то, что для исследования процессов самоорганизации в сложных системах необходимо кооперирование многих дисциплин.

Парадигма – образец, пример, признанные всеми научные достижения, которые в течение определённого времени дают модель постановки проблем и их решений научному сообществу. Мультипарадигмальный подход – признающий правомерность нескольких парадигм.

К сложным системам относятся, к примеру, системы живой природы, некоторые социальные и гуманитарные системы. Их отличительными особенностями являются динамичность и перестройка структурных и организационных форм. Поэтому их определяют как самоорганизующиеся системы.

Самоорганизация предполагает изменение прежней организации, порядка или структуры и появление нового на основе взаимодействия элементов системы с внешней средой.

Главный вопрос, на который призвана ответить синергетика, заключается в следующем: как, каким образом возникают устойчивость и порядок в таких системах, если по своей сути они неустойчивы, динамичны?

Главное отличие синергетической парадигмы от традиционной стратегии изучения сложных систем заключается в следующем. В традиционном подходе объяснение процессов, происходящих в сложных системах, осуществлялось на основе редукции – сведения их к поведению простых элементов в микромире (мире ненаблюдаемых объектов – атомов, микрочастиц и пр.). Синергетика, напротив, стремится установить связь и взаимодействие между микро - и макропроцессами (наблюдаемыми), не рассматривая свойства ненаблюдаемых объектов. Изменения же, происходящие в макромире, синергетика объясняет как результат взаимодействия огромного числа элементов и частиц системы на ненаблюдаемом уровне. Основная идея синергетики: сложные системы

изменяются в результате изменений, происходящих на микроуровне, они недоступны непосредственному наблюдению, но доступен наблюдению их совокупный результат, который описывается управляющими параметрами системы.

В традиционном смысле понятие «сложность» понималось как многоуровневость, иерархичность, в синергетической парадигме – как динамичность, как то, что имеет потенциал самоорганизации. В традиционной доминанте «система» понималась как «равновесность», «устойчивость», в синергетической – как неустойчивость состояний, частей системы. «Случайное» в синергетической парадигме определяется как общее правило (а не как исключение), а «неравновесность» - как условие и источник порядка.

Синергетическая парадигма показала (экспериментально и теоретически), что при наличии определённых условий самоорганизация может происходить уже в простейших физико-химических и других системах неорганической природы.

Синергетическая парадигма показывает, что не только причина вызывает и порождает действие (как это утверждалось в традиционном понимании линейной причинности), но и действие может оказывать влияние на породившую его причину (или причины). Поведение компонентов системы подчиняется и управляется параметрами порядка, в то же время сами параметры порядка возникают в результате взаимодействия компонентов системы. А это указывает на цикличность причинности, учитывающую факт обратного влияния действия на породившую его причину.

2.2.4. Эволюционизм.

Идеи эволюции возникли в науке приблизительно в XVIII-XIX вв. (Это гипотеза Канта-Лапласа о возникновении Солнечной системы из туманности, теория геологической эволюции Ч. Лайеля, наконец, эволюционная теория Ч. Дарвина в биологии). Данные идеи на сегодняшний день приобрели в науке XX – XXI вв. характер глобальной эволюции Вселенной. Во многом этому способствовал и системный подход, и принципы самоорганизации открытых систем.

Исследованием космической эволюции занимается новая наука – космология, представляющая синтез астрономии, физики, геометрии и др.

В космоголии была обоснована идея космической эволюции, согласно которой она – начало всех процессов и форм развития материальных систем во Вселенной. Идея космической эволюции Вселенной указывает на тот факт, что

процесс её образования проходит определённые этапы: от образования атомов и молекул (микроэволюция) до возникновения макротел и их систем, образования галактик (макроэволюция).

Можно говорить о глобальном, или универсальном, эволюционизме, что позволяет рассматривать эволюции взаимосвязанных систем различного уровня. Универсальная эволюция понимается сегодня как синтез системного и эволюционного подходов, что позволяет анализировать не только эволюцию отдельных систем (как в биологии), а исследовать взаимосвязь и взаимодействие множества развивающихся систем – от простейших, физических, состоящих из элементарных частиц, до более сложных как по уровню организации, так и по типу взаимодействия между их элементами. На основе такого (системного) подхода научная картина мира сегодня предстаёт как целостный процесс перехода от микроэволюции, связанной с образованием сложных микрообъектов, к макроэволюции, а от неё – к биологической эволюции. Этими процессами и объясняется все многообразие вещей и явлений, происходящих в окружающем нас мире.

Системный подход к глобальной эволюции дополняется синергетическим принципом, объясняющим переход от одних систем и структур к другим посредством процесса самоорганизации.

Синергетика разрушила представление о стационарном характере Вселенной, позволила идею эволюции в биологии перенести на объекты физического мира, устранив тем самым противоречие между классической физикой и эволюционной теорией в биологии.

Глава 3. Характерные особенности развития и черты современной науки

3.1. Естественные и технические науки

Особенности развития современной науки проявляются в фундаментальных чертах науки. Структура научной деятельности имеет одну важную особенность - это разделённость, которая делит науку на несколько обособленных дисциплин. Это позволяет изучать отдельные фрагменты реальности более детально, но становится преградой при необходимости проведения интегративных комплексных исследований [3, 4].

Важной фундаментальной чертой науки выступает и *стремление абстрагироваться от самого человека*. Данная особенность делает ее менее ответственной за все возникающие экологические трудности и не соответствующей реальности, поскольку в качестве основного фактора изменений действительности выступает человек.

В результате развития научных знаний должен образоваться контур, обеспечивающий обратную связь между всеми жизненными сторонами и наукой. Расширение науки сопровождается ростом упорядоченности и интеграции, что, собственно, и является становлением науки на более высокий уровень гармоничной целостной системы.

К началу Новейшего времени технические науки, основанные на практике, приобрели качество подлинной науки, признаками которой являются:

систематическая организация знаний;

опора на эксперимент;

построение математизированных теорий.

Технические науки составили сложную иерархическую систему знаний — от весьма систематических наук до собрания правил в инженерных руководствах. В их рамках появились также особые фундаментальные исследования.

В результате глубокого анализа технических наук выявилось три подхода к определению их сущности:

1) отождествление технических наук с прикладным естествознанием;

2) рассмотрение естественных и технических наук как равноправных научных дисциплин;

3) выделение в технических науках как фундаментальных, так и прикладных исследований.

Сегодня технические науки рассматриваются в качестве относительно самостоятельной отрасли научного производства, равноправной области науки.

Технические науки — часть науки, и хотя они не должны далеко отрываться от технической практики, но не совпадают с последней. Научно-техническая дисциплина обслуживает технику, но является, прежде всего, наукой, т.е. направлена на получение объективного, поддающегося социальной трансляции знания.

Наиболее тесно технические науки связаны с естествознанием. Технические и естественные науки имеют одну и ту же предметную область инструментально измеримых явлений, однако проводят исследование различным образом.

Технические явления в экспериментальном естествознании играют решающую роль, а большинство физических экспериментов является искусственно созданными ситуациями.

Объекты технических наук также представляют собой своеобразный синтез "естественного" и "искусственного". Искусственность объектов технических наук заключается в том, что они являются продуктами сознательной целенаправленной человеческой деятельности. Их естественность обнаруживается прежде всего в том, что все искусственные объекты в конечном счёте создаются из естественного (природного) материала.

Естественные и технические науки — равноправные партнёры. Они тесно связаны как в генетическом аспекте, так и в процессах своего функционирования. Из естественных наук в технические были транслированы первые исходные теоретические положения, способы представления объектов исследования и проектирования, основные понятия, а также был заимствован идеал научности, установка на теоретическую организацию научно-технических знаний, на построение идеальных моделей, математизацию.

В технических науках все заимствованные из естествознания элементы претерпели существенную трансформацию, в результате чего и возник новый тип организации теоретического знания. Кроме того, технические науки со своей стороны в значительной степени стимулируют развитие естественных наук, оказывая на них обратное воздействие.

Если для естественных наук идеалом являются научная истина и открытия, то для технических наук — не просто истинное знание, но эффективное техническое знание в контексте инженерной практики и инженерных разработок, а также конструирование и изобретение.

Главная специфическая особенность технических наук обусловлена принципиальным отличием технических и технологических закономерностей от природных, являющихся предметом изучения естествознания. Техника, будучи

объектом творчества, не является простой реализацией естественнонаучных знаний: она имеет свои специфические законы развития, которые также выступают основой технического творчества.

Специфика познавательной деятельности, осуществляемой в процессе создания технологических объектов, определяется тем, что она направлена на исследование структурно-функциональных зависимостей и формирование (конструирование) на их основе структур, выполняющих заданные функции. Поэтому, чтобы материализоваться в технических объектах, естественнонаучные законы должны быть трансформированы в технические законы.

Развитие естественных наук — необходимое, но не достаточное условие для создания новых технологий. В настоящее время научно-технические дисциплины представляют собой широкий спектр различных дисциплин — от самых абстрактных до весьма специализированных, которые ориентируются на использование знаний не только естественных наук (физики, химии, биологии и т.д.), но и социально-гуманитарных (например, экономики, социологии, психологии).

Существуют такие, к примеру, дисциплины, как инженерная психология, техническая эстетика, в которых имеет место синтез технического, естественнонаучного и социально-гуманитарного знания.

Объект технических наук — это техника, технология, техническая, инженерная деятельность и практика, определённые закономерности функционирования и развития техники в целом, а также отдельных её элементов, принципы, способы и методы проектно-технической деятельности, разработки идеальных моделей технических устройств, материализации и "овеществления" технического знания прежде всего в материальном производстве, а затем и в других сферах.

Принято выделять три большие группы технических наук:

1) науки, изучающие технические свойства материалов;

2) науки, изучающие технологические способы производства, т.е. технологические науки;

3) науки об устройствах.

Различные технические науки исследуют процессы функционирования структурных элементов техники как общественной материальной системы, построения, производства и эксплуатации новых технических объектов внутриотраслевого, отраслевого и межотраслевого назначений. Отсюда —

разная степень их общности и фундаментальности. Технические науки раскрывают закономерности, принципы и методы реализации всех отмеченных процессов, поэтому, как и многие другие, имеют свои фундаментальные и прикладные области.

Фундаментальные технические исследования направлены на получение новых научных знаний и выяснение фундаментальных закономерностей развития и функционирования техники и технологии, на построение технической теории. Их результаты адресованы главным образом другим членам научного сообщества.

Прикладные технические исследования непосредственно направлены на решение различных практических, технико-технологических, инженерных проблем и задач. Их результаты адресованы производителям и заказчикам, клиентам.

Для современного этапа развития науки и техники характерно использование результатов фундаментальных исследований для решения прикладных проблем.

Работа же, направленная на прикладные цели, может быть весьма фундаментальной. Вполне правомерно сегодня говорить и о фундаментальном промышленном исследовании.

3.2. Техническая наука как новая форма современной научно-технической деятельности

Появление технических наук было обусловлено развитием машинного производства и требовавшимся для него формированием специалистов – носителей научно-технического образования, т. е. инженеров, а также необходимостью усиления их теоретической подготовки [5, 7].

Технические науки становятся важным связующим звеном между теоретическим естественно-научным знанием, инженерной деятельностью и производством.

Исходным звеном этой цепи являются фундаментальные знания, которые закладывают теоретические основы принципиально новых видов техники и технологии.

Нельзя недооценивать необходимость развития фундаментальных исследований.

Примеры: атомная энергия, полупроводники, новые материалы – графен.

Происходит возрастание роли фундаментальных, теоретических исследований с точки зрения потребностей ускорения научно-технического прогресса.

Технические и естественные науки занимают одну и ту же предметную область инструментально-измеримых явлений: большинство физических экспериментов является искусственными, а *технические науки – это часть науки* и хотя они не должны далеко отрываться от технической практики и обслуживают технику, но являются прежде всего наукой, т. е. направлены на объективное и поддающееся передаче знание и могут быть рассмотрены как академические дисциплины.

Глава 4. Этапы становления и развитие технических наук

4.1. Роль и значение технических наук

В отличие от фундаментальных наук, технические науки имеют исключительно прикладное, практическое назначение. Практическая направленность научно-технических исследований противопоставляет их фундаментальной науке. Между прикладными исследованиями и фундаментальной наукой существует неразрывная связь: с одной стороны, результаты фундаментальных исследований являются теоретической основой для проведения прикладных исследований, а с другой стороны, результаты научно-технической деятельности предоставляют свидетельства, которые могут подтверждать или опровергать научные теории, сформулированные учёными - теоретиками. (Фундаментальные исследования подтверждаются испытаниями).

Прикладная направленность технических наук привела к созданию первых тепловых двигателей, летательных и далее космических аппаратов, сложнейших технических объектов.

Технические науки оперируют преимущественно понятием процедура (от лат. processus-продвижение), то есть взаимосвязанная последовательность действий, направленных на достижение поставленных задач в заданных граничных условиях.

Фундаментальные естественные науки оперируют, в основном, понятием *процесс* (от лат. procedo - последовательных смен состояний объектов во времени), то есть изучение базовых законов природы, при этом невозможно заранее задать конечную цель исследования, оценить результаты, необходимые сроки и затраты.

В результате может быть получена совершенно новая, недоступная по уровню технических наук технология. К примеру, лазерные технологии в

современном мире приобрели существенную роль – от светодиодов до технологий оптических носителей информации и военного назначения.

Технические науки в составе иных прикладных наук играют основную роль в развитии технологий. В основе техники лежит использование законов природы. Вся история техники раскрывает диалектическое взаимодействие техники и естествознания.

На современном этапе развитие техники на основе широкого использования научных знаний - главное условие научно-технического прогресса. В современный период важнейшие достижения техники – следствие фундаментальных научных открытий. Чисто эмпирическим путём уже невозможно создавать технические средства, подобные ядерным реакторам, лазерам, компьютерам и так далее; предварительным условием их создания является глубокое изучение и познание физических, химических и иных явлений и процессов, лежащих в основе принципа их действия.

Непременное условие развития техники и, следовательно, материального производства - обеспечение опережающего развития науки по отношению к технике, практике. В то же время именно производство, его потребности и запросы оказывают решающее воздействие на развитие науки. Технический уровень производства обусловливает степень использования науки, определяет готовность технической базы производства к реализации новых научных идей. Вместе с тем материально-техническая база производства создаёт также материальную базу самих научных исследований, оказывает решающее влияние на качественный уровень научных экспериментов, на степень «индустриализации» науки.

Современная наука оснащается сложнейшими техническими устройствами и сооружениями — исследовательскими реакторами, установками для изучения термоядерного синтеза, андронными коллайдерами, мощными радиотелескопами и т.д.

Интенсивное развитие науки и техники, их взаимосвязь и взаимодействие, превращение науки в непосредственную производительную силу составляет одну из важнейших сторон современной научно-технической революции.

В современном производстве произошёл переход от механизации отдельных процессов труда к комплексной механизации, автоматизации всего производства, к широкому использованию автоматизированных систем управления, промышленной робототехники.

Механические методы обработки материалов во многих случаях заменяются или дополняются более совершенными, использующими новейшие достижения физики и химии (ультразвуковая, высокочастотная, электроэрозионная, лазерная и др. виды обработки).

Развитие биотехнологий позволяет эффективно применять для решения инженерных задач биологические методы, использовать в различных областях техники опыт живой природы. Биотехнология позволяет реализовать биологические методы получения многих продуктов и веществ.

Прогресс космических исследований - пример плодотворного взаимодействия науки и техники, их взаимообогащения в процессе совместного развития. Создание и совершенствование космических технологий явилось стимулом прогресса не только в области технических наук и связанных с ними отраслей производства (особенно радиоэлектроники, автоматики, точного приборостроения, материаловедения и др.), но также и в области естественных и общественных наук, где появились совершенно новые направления: космическая физика, биология, медицина, психология, право и т. д.

Развитие информационной и вычислительной техники вовлекло в изучение процессов связи и управления большой комплекс наук, выдвинуло ряд общенаучных проблем (проблемы передачи информации, взаимодействия человека и машины и др.).

4.2. Развитие технических наук в XX веке

В середине XX в. человечество вступает в новую информационную эпоху, складывание информационного общества. Этому способствовали такие технические достижения, как появление атомной энергетики, ракетной техники, создание синтетических материалов, телевидения, электронно-вычислительных машин (применение которых стало основой развития комплексной автоматизации производства и управления им). К трехзвенной системе машины — исполнительный механизм, передаточный механизм и двигатель — добавилось четвёртое звено — автоматический контроль и регулирование производственного процесса.

В развитии технических наук углубляются системно-интегративные тенденции, что проявляется в масштабных научно-технических проектах (освоение атомной энергии, создание ракетно-космической техники), в проектировании больших технических систем, формировании системы "фундаментальные исследования — прикладные исследования — разработки".

Возникают новые области научно-технического знания: ядерная физика, ядерное приборостроение, теоретическое и экспериментальное материаловедение, теория создания искусственных материалов. Появляются новые технологии и технологические дисциплины. Зарождается квантовая наука и развиваются теоретические дисциплины лазерной техники.

Создание научного обеспечения пилотируемых космических полётов (огромная роль здесь принадлежит советским конструкторам С.П. Королеву, М.В. Келдышу и др.), разработка проблем автоматизации и управления в сложных технических системах обусловили развитие теории автоматического управления, теории информации, а также средств и систем обработки информации.

Решение прикладных задач на ЭВМ, развитие вычислительной математики стимулировали *автоматизированное проектирование* сложных систем, что привело к формированию неклассических (комплексных) научно-технических дисциплин, таких как системный анализ, системотехника, информатика, эргономика, инженерная экология, техническая эстетика и др.

Неклассические (комплексные) технические науки, например теоретическая радиолокация или информатика, образованы на базе нескольких естественных наук.

Они состоят из разнородных предметных и теоретических частей, содержат системные и блок-схемные модели разрабатываемых объектов, а также описание средств и языков, используемых в исследовании, проектировании или инженерных разработках. Комплексные технические науки отличаются от классических, прежде всего, и по объектам исследования.

Неклассические науки являются проблемно ориентированными на различные классы сложных научно-технических проблем (хотя объект исследования и проектирования может при этом совпадать).

При формировании неклассических технических наук можно выделить несколько этапов:

Первый этап - характеризуется складыванием области однородных, достаточно сложных инженерных объектов (систем). Проектирование, разработка, расчеты этих объектов приводят к применению нескольких технических теорий классического типа. При этом задача заключается не только в том, чтобы описать и конструктивно определить различные процессы, аспекты и режимы работы проектируемой (и исследуемой) системы, но и *"собрать" все отдельные представления в единой многоаспектной модели (имитации)*.

Второй этап - заключается в "нащупывании" в подсистемах сложного инженерного объекта сходных планов и процессов (регулирование, передача информации, функционирование систем определенного класса и т.д.), которые позволяют: решать задачи нового класса, характерные для таких инженерных объектов (например, установление принципов надежности, управления, синтеза разнородных подсистем); использовать для описания и проектирования таких объектов определенные математические аппараты (математическую статистику, теорию множеств, теорию графов и др.).

Третий этап - ознаменовывается в комплексных технических науках созданием теории идеальных инженерных устройств (систем). Например, в теоретической радиолокации после 1950-х гг. были разработаны процедуры анализа и синтеза теоретических схем радиолокационных станций (РЛС). С этой целью строится идеальный объект радиолокации — "идеальная РЛС", относительно которой формулируются основное уравнение дальности радиолокации и уравнения, определяющие ее рабочие характеристики. Создание теории идеальных инженерных устройств венчает формирование и классических, и неклассических технических наук. Идеальные инженерные устройства живут и функционируют не только по законам "первой природы", но и по законам "второй природы", в которой рождаются и живут инженерные объекты.

В середине XX века завершается процесс институционализации технических наук, т.е. создания исследовательских организаций и учреждений, формирования сообщества ученых технической направленности.

4.3. Закономерности и тенденции развития современного научно-технического знания

Можно выделить следующие закономерности и тенденции развития современного научно - технического знания [8, 9]:

1) последовательную эволюцию в направлении формирования целостной системы знаний;

2) дисциплинарную организацию, формирование типов технических наук;

3) углубление взаимодействия с естественными и социально-гуманитарными науками, а также с философией;

4) углубление математизации;

5) обретение определяющей роли в усилении взаимодействия науки, техники и производства, в развитии общества;

6) формирование техносферы гармоничной по отношению к природе, обществу и человеку;

7) взаимодействие на всех уровнях и во всех формах с инженерной деятельностью

4.4. Структура технических наук и основные их разделы

Важнейшую роль в развитии науки играют этапы ее внутренней трансформации, известные как «научные революции».

В настоящее время в философии и социологии познания все чаще отмечается возникновение некоего качественного нового явления - технонауки. Термин «технонаука», утвердившийся в научном обиходе в 80-е - 90-е годы XX-го века, подчеркивает то обстоятельство, что техногенная среда превращается из простого «приложения» научного знания в естественную среду развития [10].

В состав технонауки включают прежде всего исследование и конструирование нанообъектов, определенные разделы информатики и разработку на их основе информационных технологий, биомедицину и так называемую когнитивную науку - междисциплинарный комплекс исследований, посвящённых процессам приобретения и использования знаний (философия сознания, психология, нейрофизиология, лингвистика и теория искусственного интеллекта). Эти направления современного научно-технического прогресса, обозначаемые в зарубежной литературе собирательной аббревиатурой NBIC (NBIC-конвергенция обозначает ускорение научно-технического прогресса за счёт взаимного влияния друг на друга различных областей науки — нанотехнологий, биотехнологий, информационных и когнитивных технологий), образовали ныне область так называемых конвергирующих технологий: их развитие взаимно усиливает друг друга по принципу синергийного взаимодействия, поскольку новые открытия и разработки в одной из них практически сразу же создают стимулы и условия развития всех остальных. Когнитивные технологии (Cognitive Technologies) отличаются от познавательных тем, что познание происходит в новой информационной среде.

К технонауке очень часто относят синтетическую химию, фармацевтику, создание новых материалов, а иногда мехатронику и робототехнику. Следует отнести сюда же космонавтику, разработку и создание больших энергосистем, поиск новых способов получения энергии, управление климатом, а также некоторые другие направления исследований и опытно-конструкторских разработок.

Характерной чертой технонауки является переплетение собственно исследовательской деятельности с практикой создания и использования современных инновационных технологий, смещение эпицентра производства знаний из академических лабораторий в исследовательские и опытно-конструкторские подразделения крупных компаний. При этом формируется трехсторонняя связка «наука-технология-бизнес», которая представляет собой не просто внешнее соединение этих трех ингредиентов, но качественно новую интегрированную структуру, в которой наука в целом сохраняет своё преобладание над технологией как сферой ее приложения.

Интересно рассмотреть эволюцию кластеров разработки и продвижения инновационных технических разработок от сталинских «шарашек», хрущевских «наукоградов», Силиконовой долины США к современным технонаучным центрам. Первые три кластера создавались и обеспечивались заказами в интересах военных ведомств (Силиконовая долина работала на создание электронной начинки ракет) вне контроля общественности над этической стороной деятельности ученых и ее направленности. Работа современных NBIC-кластеров связана уже не с большими объектами, преимущественно военно-технического назначения, а с самим человеком и человекомерными объектами. Считается, что она контролируется общественностью и по определению носит гуманный характер.

Во многих публикациях последних лет указывается, что любой достаточно значимый технический проект является еще и социальным проектом и всегда содержит в себе определенный набор социальных предписаний. Осознание этого обстоятельства закономерно ведет к пересмотру ориентиров инженерной деятельности, по крайней мере в некоторых наиболее динамичных ее сегментах. Все чаще ставится вопрос о переходе от классической к так называемой гетерогенной инженерии или, если использовать более широко распространенный в русскоязычной литературе термин, - к системному проектированию. Системное проектирование предполагает, что инженер видит свою задачу не только в осуществлении технических инноваций как таковых, но и в не меньшей (если не в большей) степени - в формировании целостных контекстов, включающих в себя также те или иные организационные решения, институциональные структуры, сети социальных связей и т.д.

4.5. Инженерная деятельность

Инженерная деятельность - область технической деятельности, включающая в себя целый ряд специализированных областей и дисциплин, направленная на практическое приложение и применение научных, экономических, социальных и практических знаний с целью обращения природных ресурсов на пользу человека [10].

Целями инженерной деятельности являются изобретение, разработка, создание, внедрение, ремонт, обслуживание и/или улучшение техники, материалов или процессов. Инженерное дело тесно переплетается с наукой, опираясь на постулаты фундаментальной науки и результаты прикладных исследований. В этом смысле оно является отраслью научно-технической деятельности.

Инженерная деятельность - это самостоятельный специфический вид технической деятельности всех научных и практических работников, занятых в сфере материального производства, который выделился на определённом этапе развития общества из технической деятельности и стал основным источником технического прогресса. Можно выделить следующие этапы развития инженерной деятельности:

1) праинженерный - время строительства достаточно крупных и сложных сооружений;

2) прединженерный - период мануфактуры, этап становления инженерной деятельности в социальном плане (конец XVIII – начало XIX вв.);

3) период развития инженерной деятельности на основе системы машин и технических наук;

4) современный этап, который связан с переходом к информационной технологии.

Вместе с усложнением производственных процессов инженерная деятельность дифференцировалась на инженерно-исследовательскую, инженерно - конструкторскую и инженерно – технологическую. Деятельность инженера в отличие от деятельности других слоев интеллигенции (педагогов, врачей, актеров, композиторов и др.) по своей роли в общественном производстве является производительным трудом, непосредственно участвующим в создании национального дохода. Тем самым инженеры выполняют одну из обособившихся функций совокупного работника. Именно практическая направленность инженерной и вообще всей технической

деятельности давала повод «интеллектуалам» смотреть на неё свысока. Техническая деятельность не пользовалась особой славой ещё в древности

В эпоху Возрождения сформировалось иное отношение к инженеру и его деятельности. К инженеру стали относиться не просто как к ремесленнику, технику, а как к творцу, творящему мир второй природы.

С конца XIX в. начинается резкая критика технического засилья и идеализация прошлого. Чрезвычайно противоречивую оценку инженерной деятельности даёт и современное общество, видя в ней не только источник жизненных благ, но и социального зла. Поэтому возникла проблема ответственности инженерной деятельности.

В современной своей сущности инженерная деятельность – это техническое применение науки, направленное на производство техники и удовлетворение общественных технических потребностей. В процессе деятельности инженера законы науки из своей теоретической формы трансформируют в технические принципы, которые находят своё практическое применение. Эта деятельность обладает определённой степенью риска, которая считается неизбежной. С целью обеспечения необходимой надёжности создаваемых технических средств и технологии создаются методы и средства преодоления этого риска путём установления определённых параметров, стандартов и использования статистического учёта случаев возможных аварий.

Союз немецких инженеров определил основные ценностные критерии инженерной деятельности: способность функционирования и надёжность, экономичность, благосостояние, здоровье, безопасность, экологичность, качество общества и развитие личности.

Процесс инженерной деятельности включает в себя: определение потребности, выработку и принятие решения, подготовку производства, регулирование производства, удовлетворение потребностей.

Первой стадией технической деятельности является изобретение, затем – проектирование, в ходе которого идеальная модель воплощается в рабочих чертежах, затем – конструирование как материальное воплощение изобретения в техническом устройстве и, наконец, промышленное освоение и внедрение в производство.

Существенные признаки инженерной деятельности:

1) это деятельность в сфере материального производства или деятельность, которая направлена на решение задач материального производства;

2) это деятельность практическая, т.е. имеет дело с реально существующими объектами в отличие от теоретической или духовной, где существуют мыслимые, идеальные объекты;

3) она разрешает противоречия между объектом (природой) и субъектом (обществом), является процессом превращения природного в социальное, естественного в искусственное;

4) она занимает промежуточное положение между теорией и практикой (труд инженера является умственным трудом в сфере материального производства).

Творчество инженера имеет определённую структуру и определяемые этой структурой этапы развития.

Структурными элементами инженерного творчества являются:

- отражение и осмысление технической потребности как проблемы технического прогресса;
- вынашивание новой технической идеи;
- разработка идеальной модели технического устройства;
- конструирование - переход от идеальной модели к созданию нового технического устройства на основе математических и технических расчётов;
- создание нового промышленного образца.

Этапы технического творчества:

Первый этап - критическое осмысление существующего положения вещей на базе экспериментальных материалов и логических рассуждений, формирование проблемной ситуации. Результатом этого является формулировка конкретной технической задачи, которая может служить основой дальнейших творческих поисков.

Второй этап - этап " рождения " и вынашивания новой технической идеи как результата скачка в новое качество при реализации поиска решения определённой технической задачи. Это ещё не техническое изобретение и не идеальная модель нового, но уже выход за рамки непосредственно данного. С этой целью применяется набор методов поиска нового. При этом рациональные методы, составляющие логическую основу процесса, не исключают действия фантазии и интуиции при рождении технической идеи.

Третий этап - этап разработки воображаемой реальности идеальной модели как результата схематизации новой технической идеи, как структурной и функциональной схемы будущего технического объекта. В идеальной модели

выражается активная созидательная деятельность субъекта, учитывается необходимость её последующей материализации, строится будущий объект не в чувственно воспринимаемой форме. На этом этапе протекает процесс обоснования, продумывания и создания образца будущего технического объекта.

Четвёртый этап - этап конструирования, перехода от мысленного построения к реальным разработкам. Результаты конструирования выражаются в эскизном и техническом проектах, в рабочих чертежах или модельно-макетном воплощении. Начинается разрешение противоречий между материальным и идеальным, теорией и практикой. Происходит движение от изобретения в форме идеальной модели или патента до рабочих чертежей или спецификаций и далее - до действующих моделей, экспериментальных или производственных образцов.

Пятый этап - этап воплощения изобретения в новом техническом объекте. Этот этап складывается из ряда стадий. На начальной его стадии создаётся экспериментальный образец, который предоставляет на основе данных экспериментов сделать доработку и доводку конструкторско-технологических разработок. Затем для испытаний образцов в промышленных условиях создаётся промышленный образец. И, наконец, новая техника и технология запускается в серийное или массовое производство. На этом этапе завершается процесс разрешения противоречий между теорией и практикой и одновременно возникают новые технические задачи, новые противоречия.

Можно отметить, что все этапы инженерной деятельности пронизаны творчеством. Творческий характер деятельности инженера проявляется прежде всего в том, что он сознательно формирует цель своей деятельности на основе осмысления технических потребностей производства и общества в целом.

4.6. Инженерные исследования

Инженерные исследования, в отличие от теоретических исследований в технических науках, непосредственно вплетены в инженерную деятельность, осуществляются в сравнительно короткие сроки и включают в себя:

предпроектное обследование;

научное обоснование разработки;

анализ возможности использования уже полученных научных данных для конкретных инженерных расчётов;

характеристику эффективности разработки;

анализ необходимости проведения недостающих научных исследований и т. д.

Инженерные исследования проводятся в сфере инженерной практики и направлены на конкретизацию имеющихся научных знаний применительно к определённой инженерной задаче. Результаты этих исследований находят своё применение прежде всего в сфере инженерного проектирования. Именно такого рода инженерные исследования осуществляются крупными специалистами в области конкретных технических наук, когда они выступают в качестве экспертов при разработке сложных технических проектов.

В процессе функционирования и развития инженерной деятельности в ней происходит накопление конструктивно-технических и технологических знаний, которые представляют собой эвристические методы и приёмы, разработанные в самой инженерной практике. В процессе дальнейшего прогрессивного развития инженерной деятельности эти знания становятся предметом обобщения в науке.

Первоначально вся инженерная деятельность была ориентирована на использование лишь естественнонаучных знаний, и в её осуществлении принимали деятельное участие многие учёные - естествоиспытатели, конструируя экспериментальное оборудование и даже технические устройства.

В настоящее время существует множество областей технической науки, относящихся к различным сферам инженерной деятельности. Однако области технической науки и соответствующие им сферы инженерной деятельности не тождественны. Например, электротехнику как сферу инженерной деятельности и отрасль промышленности не следует путать с теоретической электротехникой, которая представляет собой область технической науки. Последняя имеет в настоящее время достаточно разработанный теоретический уровень (скажем, теорию электрических цепей) и не может рассматриваться как исследование, направленное лишь на приложение знаний естественнонаучных дисциплин.

В технических науках развиты особые теоретические принципы, построены специфические идеальные объекты, введены новые научные законы, разработан оригинальный математический и понятийный аппарат.

Технические науки удовлетворяют сегодня всем основным критериям выделения научной дисциплины. В то же время следует помнить, что технические науки достаточно чётко ориентированы на решение инженерных задач и имеют вполне определённую специфику. Конечно, в них доказываются теоремы и строятся теоретические системы. Однако, наряду с этим, важное место занимают описания расчётов и приборов и различные методические

рекомендации. Главная цель технических наук – выработка практико-методических рекомендаций по применению научных знаний, полученных теоретическим путём (в сфере технической науки – технической теории) в инженерной практике.

С появлением и развитием технических наук изменилась и сама инженерная деятельность. В ней постепенно выделились новые направления, тесно связанные с научной деятельностью (но не сводимые к ней), с проработкой общей идеи, замысла создаваемой системы, изделия, сооружения, устройства и прежде всего – проектирование.

4.7. Особенности современной инженерной деятельности

Инженерная деятельность входит в развивающийся процесс, в котором принимают участие достаточно большое число специалистов. Во всех этих случаях инженерная деятельность берет своё начало не только в деятельности отдельных людей, но подчас и рядом, в совместном труде многих, т. е. в дифференцированном по специализированным функциям "трудовом сотрудничестве". Примером этому могут служить усовершенствование велосипеда или автомобиля что приводит к потере авторства [13].

Техническое творчество проявляется как активная способность и сила, свойственная не столько отдельно взятому человеку, а в конечном счете - человечеству в целом.

Целепологание развития техники задается людьми и в своем большинстве носит коллективный характер.

Не только цели и задачи процесса изобретения, но и сами технические решения при осуществлении изобретения принимаются большим коллективом инженеров - проектировщиков, конструкторов, технологов, дизайнеров.

К творческому процессу инженеров подключается деятельность экономистов, психологов, экологов и других специалистов. Но еще больший коллективный характер деятельности всех этих участников изобретательского процесса проявляется при функционировании созданной техники. В процессе эксплуатации техники к деятельности инженеров подключаются участвующие в производстве рабочие.

Ввиду коллективного характера инженерного творчества, усиления анонимности результатов этого творчества возникают проблемы не только организации изобретательского процесса, но и определения доли и соответствующего вознаграждения отдельных лиц, участвующих в этом

процессе. Эта творческая доля должна быть четко обозначена, определена. Творчество отдельных инженеров не умаляется в своем значении, а лишь стимулируется творчеством своего коллектива. В отличие от творчества в области литературы или искусства. Творчество инженера имеет другую природу, оно стимулируется творчеством всего коллектива и получает соответствующею оценку своей эффективности.

В инженерном творчестве, как правило, существует два подхода к моделированию новой техники в процессе ее создания.

Первый имеет дело только с техническими объектами и пренебрегает человеком, человеко - машинные отношения в лучшем случае отходят на задний план. При втором подходе исходным моментом модели является не техническое устройство, а процесс преобразования веществ и сил природы с целью удовлетворения человеческих потребностей. В этом случае моделируется система "человек - техника - производственная среда".

Таким образом, сам процесс технического творчества является выражением интеллектуальных потенций личности, однако на его реализацию как и на смысл этого творчества оказывают воздействие не только технологические, но и экономические и социально - политические факторы. Именно поэтому многие результаты технического творчества не получив социально - практического запроса в течение длительного периода времени не находили своего практического воплощения и общественного признания.

4.8. Системотехническая деятельность

Во второй половине XX века изменяется не только объект инженерной деятельности (вместо отдельного технического устройства, механизма, машины и т.п. объектом исследования и проектирования становится сложная человеко-машинная система), но изменяется и сама инженерная деятельность, которая стала весьма сложной, требующей организации и управления. Наряду с прогрессирующей дифференциацией инженерной деятельности по различным ее отраслям и видам, нарастает процесс ее интеграции. А для осуществления такой интеграции требуются особые специалисты - инженеры-системотехники.

Системотехническая деятельность осуществляется различными группами специалистов, занимающихся разработкой отдельных подсистем. Расчленение сложной технической системы на подсистемы идёт по разным признакам: в соответствии со специализацией, существующей в технических науках; по области изготовления относительно проектировочных и инженерных групп; в соответствии со сложившимися организационными подразделениями.

Для реализации системотехнической деятельности требуется группа особых специалистов (скорее, их следует назвать универсалистами) – координаторов (главный конструктор, руководитель темы, главный специалист проекта или службы научной координации, руководитель научно-тематического отдела). Эти специалисты осуществляют координацию, равно как и научно-тематическое руководство и в плане объединения различных подсистем, и в плане объединения отдельных операций системотехнической деятельности в единое целое.

4.9. Математическое моделирования

Математическое моделирование – исследование предметов познания на их моделях, построение и изучение моделей реально существующих предметов и явлений (живых и неживых систем, инженерных конструкций, разнообразных процессов – физических, химических, биологических, социальных) и конструируемых объектов (для определения, уточнения характеристик, рационализации способов их построения и т.п.)

Моделирование называют предметным, если исследование ведётся на модели, воспроизводящей основные геометрические, физические, динамические и функциональные характеристики в свойствах «оригинала» (но не обязательно все свойства). Если модель и моделируемый объект имеют одну и ту же физическую природу, то говорят о физическом моделировании. Модель должна быть подобна оригиналу. Получаемые для модели результаты можно перенести на оригинал, умножив на « множитель – коэффициент подобия».

Аналоговое моделирование – один из важнейших видов моделирования, основанный на аналогии (изоморфизме) явлений, имеющих различную физическую природу, но описываемых одинаковыми математическими уравнениями. Важнейший вид аналогового моделирования это математическое моделирование, осуществляемое средствами языка математики и логики. Аналоговое моделирование выполняется на аналоговых ЭВМ (АВМ).

Различают моделирование структуры объекта и моделирование его поведения (функционирования протекающих в нем процессов).

Кибернетическое моделирование делает акцент на моделировании функционирования изучаемых систем, абстрагируясь от их структуры.

Стохастическое моделирование основано на установлении вероятностей тех или иных событий.

Математическое моделирование является наиболее универсальным видом моделирования. Основано на математическом описании объектов и их поведения

и применении вычислительных машин для решения математических уравнений. При этом надо решить три задачи: составить математическую модель, найти решение и выполнить проверку адекватности модели изучаемому процессу или объекту.

Для сложных систем проводят многофакторные эксперименты, дисперсионный и регрессионный анализ полученных математических моделей, статистическую обработку результатов экспериментов.

4.10. Социотехническое проектирование

"Расслоение" инженерной деятельности приводит к тому, что отдельный инженер, во-первых, концентрирует своё внимание лишь на части сложной технической системы, а не на целом и, во-вторых, все более и более удаляется от непосредственного потребителя его изделия, конструируя артефакт (техническую систему) отделённым от конкретного человека, служить которому прежде всего и призван инженер. Непосредственная связь изготовителя и потребителя, характерная для ремесленной технической деятельности, нарушается.

Однако сегодня создание автомобиля - это не просто техническая разработка машины, но и создание эффективной системы обслуживания, развитие сети автомобильных дорог, скоростных трасс с особым покрытием, производство запасных частей и т.д. и т.п.

Строительство электростанций, химических заводов и подобных технических систем требует не просто учёта "внешней" экологической обстановки, а формулировки экологических требований как исходных для проектирования. Все это выдвигает новые требования как к инженеру и проектировщику, так и к представителям технической науки.

Современный инженер - это не просто технический специалист, решающий узкие профессиональные задачи. Его деятельность связана с природной средой, основой жизни общества, и самим человеком. Поэтому ориентация современного инженера только на естествознание, технические науки и математику, которая изначально формируется ещё в вузе, не отвечает его подлинному месту в научно-техническом развитии современного общества.

Задача современного инженерного корпуса - это не просто создание технического устройства, механизма, машины и т.п. В его функции входит и обеспечение их нормального функционирования в обществе (не только в техническом смысле), удобство обслуживания, бережное отношение к

окружающей среде, наконец, благоприятное эстетическое воздействие и т.п. Мало создать техническую систему, необходимо организовать социальные условия ее внедрения и функционирования с максимальными удобствами и пользой для человека.

Отрицательный опыт разработки автоматизированных систем управления (АСУ), например, очень хорошо показывает недостаточность узкотехнического подхода к созданию сложных человеко-машинных систем. Все отрасли, объединения, предприятия кинулись срочно закупать вычислительную технику, ещё точно не зная, как её использовать. При этом не учитывалось, что социальный организм, в который встраивается данная техника, должен быть перестроен, иначе АСУ, вместо сокращения управленческого персонала, ради чего они и внедрялись, приводят к его увеличению. Для внедрения АСУ была необходима перестройка всей хозяйственной деятельности цеха, предприятия, отрасли, а не автоматизация рутинных процедур человеческой деятельности путем замены человека машинными компонентами. Машинные компоненты выступают в этом случае уже как подчинённые более общей и глобальной социально-экономической задаче.

4.10. Интеграция технических наук с инженерной деятельностью

В современных условиях научно-исследовательские работы представляют собой комплекс теоретических и экспериментальных исследований, проводимых с целью получения обоснованных исходных данных для изыскания путей создания новой продукции, продукции с новым уровнем качества. Конечным результатом научно-исследовательской работы (НИР) в области техники и технологий является, прежде всего, обоснованное техническое задание на проведение опытно-конструкторских работ (ОКР). Опытно-конструкторские работы преимущественно являются этапами апробации и внедрения результатов научно-исследовательских работ, а результатом последних – новый уровень качества технического изделия или полностью новое изделие. ОКР позволяют наиболее рационально и эффективно в дальнейшем создавать серийную промышленную конструкцию изделия и соответствующую технологию его изготовления.

Как и любую профессиональную работу, НИР и ОКР необходимо планировать для рационального достижения поставленной цели. Планирование научно-исследовательской деятельности и опытно-конструкторских работ в организации или на предприятии - это процесс прогнозирования и разработки системы количественных и качественных показателей их развития, которые

определяют темпы, тенденции и пропорции развития указанных работ и содействуют выбору наиболее оптимальных вариантов достижения целей.

Вопросы организации и управления также актуальны на современном этапе развития прикладных наук, которые создают соответствующие условия для создания новой техники. Основными предпосылками обеспечения нового уровня качества промышленных изделий являются технические и административные факторы, поэтому обеспечение качества промышленной продукции на новом уровне неразрывно связано с управлением прикладных научных исследований и далее опытно-конструкторских работ. Вопросы управления НИР и ОКР являются во многом необходимыми в настоящий период интенсивного совершенствования техники и технологий, так как они позволяют обеспечивать высокую и эффективную работоспособность научно-инженерных коллективов при решении создания новых технических устройств и разработки соответствующих технологий.

Глава 5. Область профессиональной деятельности специалистов вычислительной технике и информационным системам

5.1. Понятия профессия

Исходной категорией для понятий «профессионал» и «профессионализм» является категория «профессия» [11].

Множество толкований термина «профессия» (лат. professio – основное занятие, специальность, от profiteer – объявляю своим делом), который определяется как «основной род занятий трудовой деятельности»; «специальность… отдельная отрасль науки, техники, мастерства»; «сфера знаний, деятельности, работы»; «служба как источник заработка… качество, способ исполнения»; «обязанность… круг действий, возложенных на кого-нибудь и безусловных для выполнения»; «карьера … путь к успехам, видному положению в обществе, на служебном поприще, а также само достижение такого положения

Можно сказать, что профессия – это разновидность деятельности, необходимая для общества и дающая человеку возможность существования и развития.

5.2. Специальность и квалификация

Близкими по предметному полю к категории «профессия» являются понятия «карьера» и «специальность».

Причём, понятие «карьера» отражает профессиональную динамику в обществе, а понятие «специальность» – внутреннюю структурированность профессиональной деятельности.

Близкой по значению к понятию «профессия» является категория «квалификация». Под квалификацией нередко понимают ту или иную профессию, специальность, умение или качество, необходимое для осуществления конкретной работы, условие для выполнения определённых заданий.

Специальность означает вид занятий в рамках одной профессии и соответствует категории особенного.

Специализация в качестве единичного указывает на конкретную форму, организацию профессиональной деятельности в рамках той или иной специальности.

Квалификация отражает качество, уровень подготовки, мастерства специалиста. Таким образом, специальность, специализация и квалификация

являются элементами профессии как общего, характеризующими её отдельные грани.

5.3. Сущностные признаки и характеристики понятия профессия

В современной научной литературе можно выделить следующие подходы, отражающие сущностные признаки самого явления профессии:

1) деятельностный (экономический) подход: профессия как общественно-значимый вид трудовой деятельности людей, определяемый разделением труда и его функциональным содержанием;

2) стратификационный (социологический) подход: профессия как большая группа людей, объединённых одним видом занятий, трудовой деятельности;

3) личностный (психологический) подход: профессия как качественная определённость личности, совокупность конкретных (общих и специфических) знаний, умений, навыков, а также личных качеств человека.

Большинство определений профессии также содержит пять основных характеристик.

Во-первых, профессия представляет собой относительно длительное, автономное, а не кратковременное выполнение определенной деятельности.

Во-вторых, это деятельность, требующая специального образования и умения.

В-третьих, профессиональная деятельность приводит к определенному профессиональному поведению как в рамках определенных профессий, так и вне их.

В-четвертых, выполнение профессиональной деятельности приводит к формированию профессионального интереса, который часто осуществляется через профессиональные объединения и предписания представителям определённых профессий (на основе чего и возникают нормы профессиональной морали и обычаев).

В-пятых, стремление представителя одной профессии по отношению к представителям других профессий проявить особый статус как в смысле организации, так и общественном смысле, что приводит к идентификации индивида с профессией, к которой он принадлежит.

Каждая профессия обладает системой ценностных предпочтений, которые задают цель, смысл и направление специалистам, работающим в той или иной сфере. Цель и задачи профессиональной деятельности вытекают из соответствующих ценностных систем, находящихся в основе данной профессии.

5.4. Профессиональное сознание

Профессиональное сознание есть системное образование, предметом отражения которого выступает конкретная профессиональная деятельность и функцией которого является регуляция данной сферы социальной активности человека.

Содержание профессионального сознания включает в себя систему осознанных профессионально - необходимых обобщенных и оперативных знаний о целях, средствах, планах и программах профессиональной деятельности, об объектах и субъектах профессионального взаимодействия, о параметрах и нормах оценки эффективности профессиональной деятельности.

При этом профессиональное сознание, объективируясь в профессиональную деятельность, включает в себя не столько стремление к некоему профессиональному идеалу, сколько ориентацию специалиста на честное исполнение своих обязанностей.

5.5. Профессиональная деятельность

Рассмотрение профессии с точки зрения деятельности подразумевает выделение в ее структуре субъективного и объективного компонентов. Субъектом профессиональной деятельности выступает личность, специалист как носитель профессии, объектом – предметная область профессионального труда.

Для большинства людей именно этот вид деятельности предоставляет возможность не только удовлетворить широкий спектр личных потребностей, но и раскрыть свои способности, утвердить себя как личность.

Профессиональная деятельность в современном обществе представляет собой сложное, внутренне структурированное, многоаспектное явление. Наиболее актуальны следующие аспекты профессиональной деятельности:

1) *Экономический аспект* – характеризуется с позиций квалификации, оплаты, хозяйственной отрасли, функций и условий труда, а также форм подготовки, сроков, необходимых для получения профессиональной подготовки и т.д. С экономической точки зрения, содержание профессиональной деятельности интерпретируется в зависимости от использования технических средств – автоматизированных, механизированных, ручных.

2) Социологический аспект основывается на анализе профессиональной деятельности с точки зрения вида труда, уровня его оплаты, престижности того или иного вида профессиональной деятельности, его влияния на социальную структуру общества.

3) Психологический аспект профессиональной деятельности включает в себя выделение следующего круга проблем: взаимодействие техники и человека, общение работников в процессе труда, исследование психологических качеств, которыми должен обладать представитель той или иной профессии и других психологических явлений, возникающих в процессе профессиональной деятельности человека.

4) В основе этического аспекта лежит сфера нравственных отношений людей в процессе профессиональной деятельности, их моральные и ценностные установки, поведенческие ориентиры, нравственно-этические критерии поступков, совершаемых в ходе реализации своих профессиональных обязанностей.

Попытку синтезировать психологические аспекты изучения профессиональной деятельности предпринял философ В.Д.Шадриков, создав схему «Психологической системы деятельности». Он выделил следующие основные функциональные блоки данной системы:

1) мотивы профессиональной деятельности;

2) цели профессиональной деятельности;

3) программа деятельности;

4) информационные основы деятельности;

5) принятие решения;

6) подсистемы профессионально значимых качеств.

Субъектом профессиональной деятельности выступает личность, обладающая необходимыми профессиональными знаниями, умениями, навыками и реализующая их в ходе предметного преобразования окружающего мира. В исследовательской литературе носитель профессии характеризуется как «профессионал», или «специалист».

5.6. Профессионал и специалист

«Профессионал» определяется в толковом словаре как «человек, сделавший какое-нибудь занятие своей постоянной профессией».

В социологическом словаре понятие «профессионал» толкуется следующим образом:

профессионал – это «индивид, основное занятие которого является его профессией; специалист своего дела, имеющий соответствующую подготовку и квалификацию».

Соответственно, «профессионализм» понимается как степень овладения индивидом профессиональными навыками, отсюда в литературе, да и в

обыденном восприятии распространены такие характеристики личности, как «высокий профессионализм», «низкий профессионализм».

Понятия «профессионал» и «специалист» чаще всего употребляются как синонимы, в значении «обладатель профессии».

В рамках подобного подхода «профессионализм» понимается как чётко фиксированная квалификация. Квалификацию трактуют именно как условие подготовленности специалиста к соответствующему труду. Поскольку чаще всего под квалификацией понимают качественный профессиональный уровень специалиста, профессионализм может быть истолкован как квалификация высокого уровня.

Профессиональная деятельность формируется в процессе общественного разделения труда на базе любительской, однако не поглощает её, обе формы деятельности продолжают существовать параллельно.

Став для человека новым родом занятий, профессиональная деятельность приобретает новые черты:

она протекает в виде исполнения соответствующих должностных обязанностей, связана с ответственностью за результат, требует специальной подготовки, т.е. превращается в профессию.

Важнейшим моментом превращения любительской деятельности в профессиональную можно считать профессиональное самоопределение личности, которое определяется степенью самооценки себя как специалиста определённой профессии, а также нравственное отношение к своей профессиональной деятельности, моральная ответственность перед потребителем за качество произведённого в ходе выполнения профессиональных обязанностей продукта – материального или духовного.

5.7. Профессионализм

Многие авторы рассматривают профессионализм как качество профессиональной деятельности, определяемое личностными возможностями: «Профессионализм – высший стандарт профессиональной деятельности, характеризующий личностные возможности исполнителя, его свободу выбора наиболее удобных и соответствующих конкретной ситуации способов деятельности. Базу профессионализма создают высшая квалификация, мастерство и целеполагание в трудовой деятельности».

Профессионализм отражает изменения навыков, способностей, квалификационных возможностей в направлении требований, предъявляемых к человеку профессией, в соответствии с научно-техническим и

интеллектуальным развитием общества. Сущностью профессионализма является профессиональное продвижение от выбора профессии к овладению ей, достижение профессионального мастерства, творческих успехов.

К числу основных критериев профессионализма в данном понимании можно отнести: компетентность работников, т.е. знание ими дела; наличие необходимого образования, стажа, навыков, системы повышения квалификации; регулярное, систематическое и творческое выполнение функций и операций; стабильность служебных отношений; следование нормам профессиональной этики и т.д.

В современных условиях неизмеримо возрастает роль профессионализма, а также объективных и субъективных факторов, способствующих реализации идей подлинной свободы профессионального самоопределения человека.

Глава 6. История развития вычислительной техники и систем управления

6.1. Зарождение вычислительной техники

Идее какой-либо механизации и автоматизации вычислительных работ многие века, а истории электронной цифровой вычислительной техники на момент написания всего 76 лет [12]. Первая из известных цифровых электронных вычислительных машин (ЦЭВМ или ЭВМ, ныне компьютер) Cokossus Mark-1 была построена в Великобритании в 1943 г. А до того многие продвинутые люди изобретали разнообразнейшие ухищрения для упрощения и ускорения счета.

Первым был пальцевой счет, зародившийся вглубине веков или тысячелетий, применяемый до сих пор и, очевидно, бессмертный.

От счета на пальцах ведет свое происхождение древняя счетная доска абак, основанная на тех же самых принципах.

Было разработано множество разнообразных механических вычислительных устройств, многие из них получили практическое применение.

Вся эта сложная и дорогостоящая механика была для профессионалов объёмных вычислительных работ, прежде всего экономистов и бухгалтеров. А для других людей, связанных с вычислениями не очень объёмными или не регулярными, в первую очередь для инженеров, научных работников, студентов и т. п., был изобретен простой, компактный и удобный прибор — логарифмическая линейка.

Следующим шагом была замена ручного привода механических арифмометров на электрический — появление электромеханических калькуляторов. Примером может служить электромеханический арифмометр ВМП-1 Курского завода «Счетмаш».

Особую роль сыграли другие электромеханические вычислительные устройства — табуляторы, впервые осуществившие автоматическую обработку числовой и буквенной информации, записанной на перфокартах с выдачей результатов на бумажную ленту или специальные бланки.

6.2. Первые ЭВМ

Электронная вычислительная машина — чисто русскоязычный термин, просуществовавший в нашей стране с начала 1950-х гг. и до торжества реформ в стране, т. е. примерно до начала 2000-х гг. В ходе реформ вместе с другими англицизмами к нам пришел термин «компьютер», ставший в русском языке синонимом ЭВМ.

Впервые трактовка слова ≪компьютер≫ появилась в 1897 г. в Оксфордском словаре английского языка: механическое вычислительное устройство. В 1946 г. словарь пополнился дополнениями, позволяющими разделить понятия цифрового и аналогового электронного компьютера. Современные компьютеры выполняют множество задач, не связанных напрямую с математикой.

Это дополнение зафиксировало появление двух классов ЭВМ — аналоговых (АВМ или АЭВМ) и цифровых (ЦВМ или ЦЭВМ, а иногда и АЭВМ или АЦВМ, имея в виду под ≪А≫ — автоматическая).

Аналоговая вычислительная машина — вычислительное средство, в котором числовые данные представляются при помощи аналоговых физических переменных (скорость, длина, *напряжение, ток, сопротивление, емкость,* давление и т. п.). АВМ характеризуются узкой специализацией по классу решаемых задач, но обладают высочайшей производительностью. На рис. 6.1 показан пульт управления отечественной аналоговой вычислительной машины МН-14.

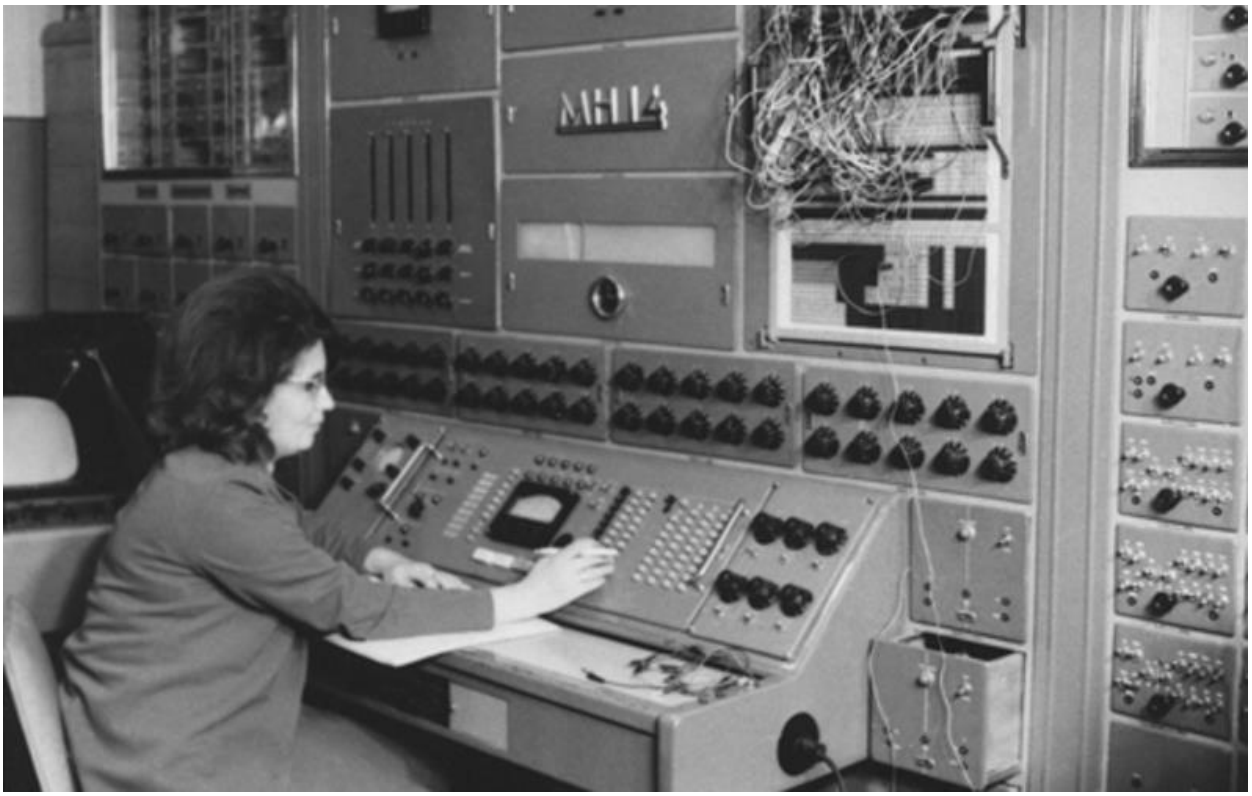

Рис. 6.1. Пульт управления аналоговой вычислительной машины МН-14

В цифровой вычислительной машине данные (числовые и символьные) представляются в виде цифровых кодов в основном в двоичной системе счисления. Эти коды в ЦВМ могут храниться в запоминающем устройстве (ЗУ), автоматически обрабатываться по специальной программе, которая также хранится в ЗУ, и транслироваться как между устройствами ЭВМ, так и с

внешними устройствами. Возможность замены программы в ЗУ делает ЦВМ универсальной по классу решаемых задач, что и определило их бурное развитие.

Развитие вычислительной техники, как и всех других видов электроники, всецело зависит от развития *электронной компонентной базы* ЭКБ. С появлением новых классов ЭКБ, в первую очередь активных элементов, появляются и новые классы изделий электроники. В вычислительной технике они называются поколениями. Различают четыре поколения:

• ЭВМ 1-го поколения на электронных лампах.

• ЭВМ 2-го поколения на дискретных транзисторах.

• ЭВМ 3-го поколения на ИС малой степени интеграции.

• ЭВМ 4-го поколения на основе больших ИС (БИС) микро - процессоров.

Строго говоря, первые ЦВМ были не совсем электронными, в качестве основного элемента в них применялись реле, которые в то время (и поныне) широко применялись в различных областях техники.

Так что ее скорее можно отнести к электромеханическим, хотя какие-то электронные блоки в ней использовались.

В 1938 г. Конрад Цузе в Германии изготовил модель машины Z1 на 16 слов; в следующем году модель Z2, а в 1941 г. он построил первую в мире действующую вычислительную машину с программным управлением, модель Z3 (рис. 6.2). Это был релейный двоичный компьютер, имеющий память на 64 22-разрядных числа с плавающей запятой: 7 разрядов для порядка и 15 разрядов для мантиссы.

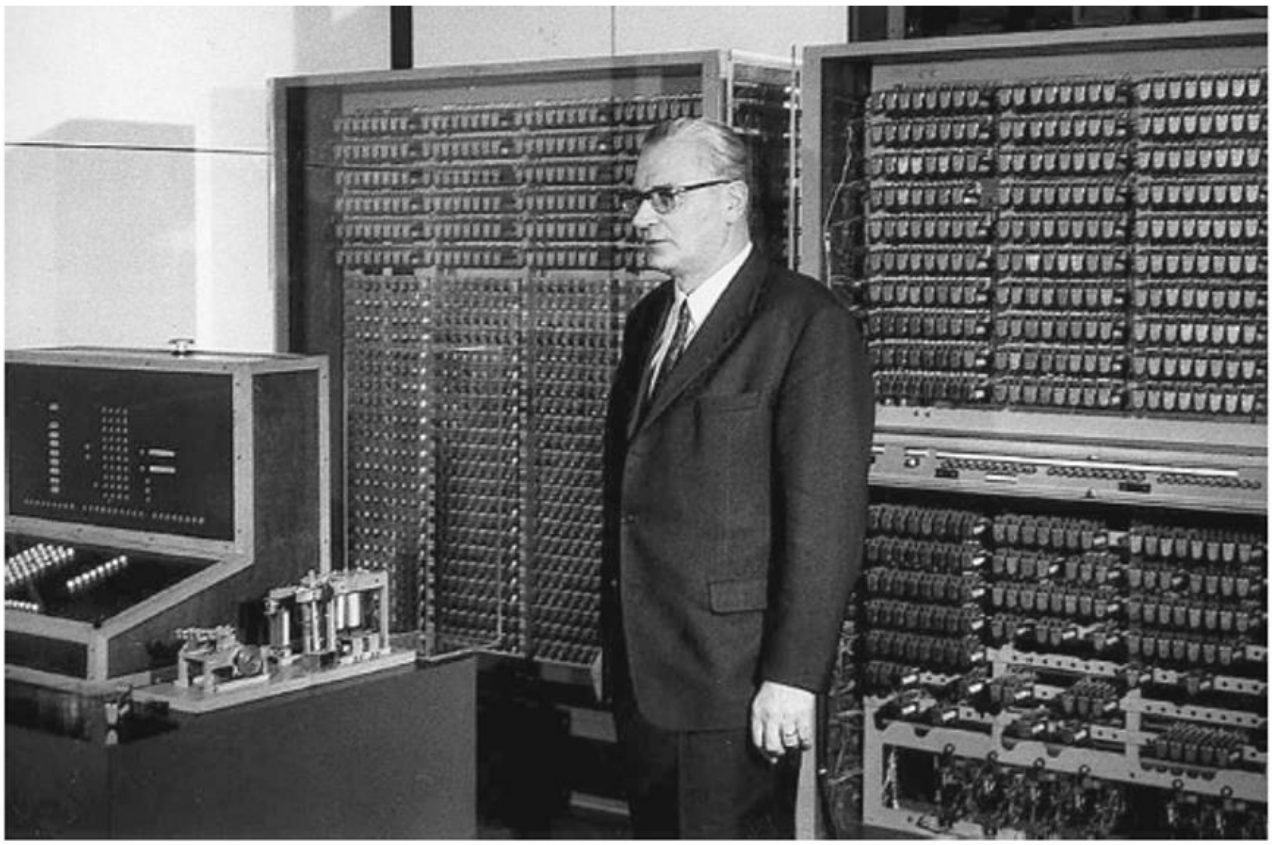

Рис. 6.2. Конрад Цузе и его релейная машина «Z3», 1941 г.

Советская релейная вычислительная машина ≪РВМ-1≫ была сконструирована и построена в 1954—1957 гг. под руководством Николая Ивановича Бессонова (1906—1963) в Институте теоретической и экспериментальной физики АН СССР. Она содержала 5,5 тыс. реле и работала в двоичной системе с числами с плавающей запятой (мантисса 27, порядок — 6 разрядов). Благодаря применению так называемого каскадного принципа выполнения арифметических операций, изобретенного Бессоновым, машина выполняла умножение за 50 мс.

Релейные вычислительные машины имели короткий век — электромеханика имеет непреодолимый предел в быстродействии и отличается большими размерами, высоким энергопотреблением и стоимостью и радикально улучшить эти характеристики принципиально невозможно. Но свою положительную роль в истории они сыграли и как предтечи ЭВМ, и решая сложные задачи.

6.3. Электронные вычислительные машины 1-го поколения (ламповые)

Первой реальной ЭВМ (правда, специализированной, предназначенной для дешифровки) является английская машина Colossus, введенная в эксплуатацию в начале 1943 г. при участии А. Тьюринга (рис. 6.3). Машина содержала около

2000 электронных ламп и обладала достаточно высоким быстродействием. Долгое время эта ЭВМ, как криптографическая, была засекречена, поэтому общественность ее не знала и отдавала пальму первенства ENIAC-у.

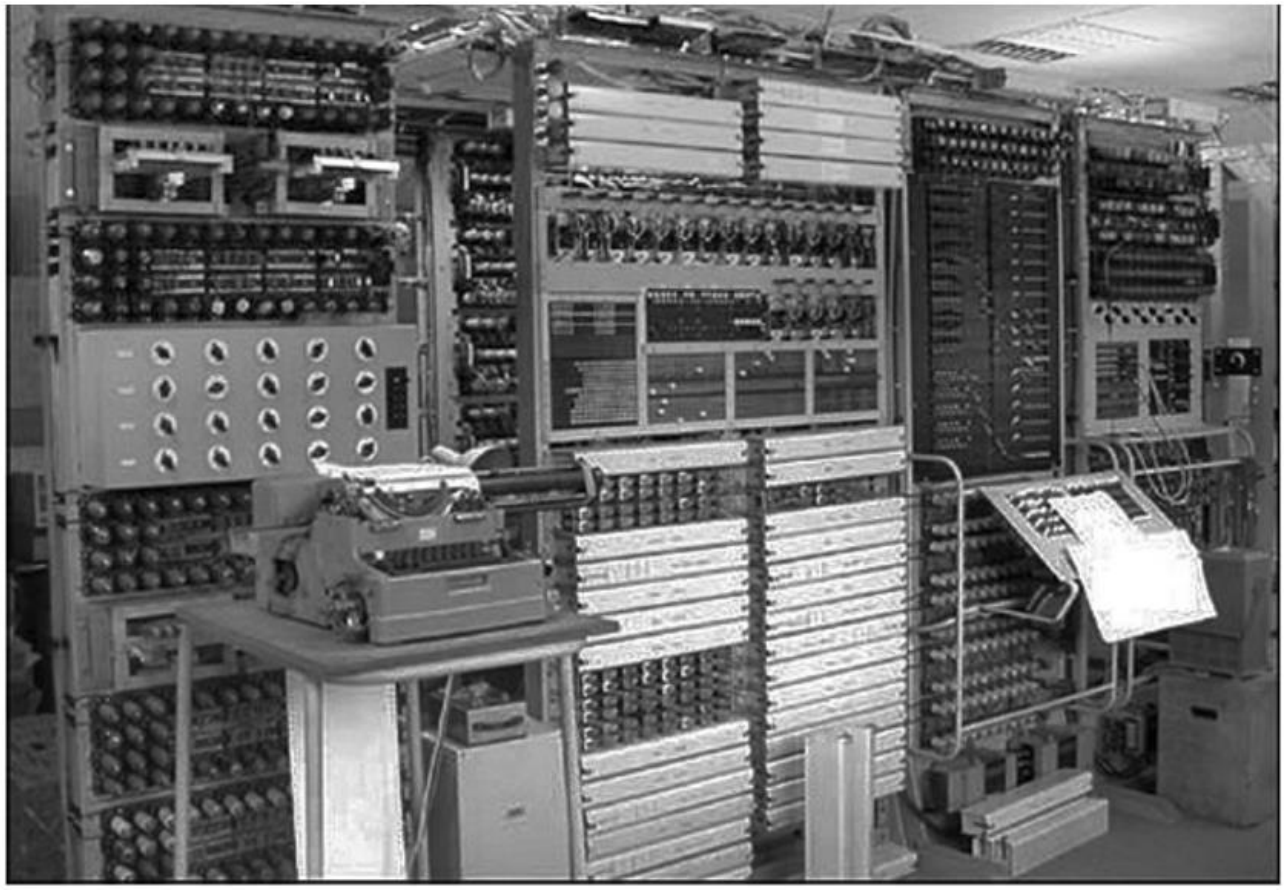

Рис. 6.3. Фрагмент ЭВМ Colossus

Первой ЭВМ традиционно принято считать машину ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer), созданную в США в конце 1945 г. (рис. 6.4). Первоначально предназначенная для решения задач баллистики, машина оказалась универсальной, т. е. способной решать различные задачи. Главным консультантом проекта являлся Д. Моучли, а главным конструктором — Д. Эккерт.

Это был монстр более 3 м высотой, занимающий площадь более 100 м^2 и весивший более 300 т. В нем было использовано 70 тыс. резисторов, 10 тыс. конденсаторов, 6 тыс. переключателей, 18 тыс. электронных ламп. Потреблял он около 150 кВт электроэнергии. Важнейшей потребительской проблемой ламповых ЭВИ была надежность. Так, согласно записям в 1952 г. было заменено около 19 тыс. ламп, т. е. в среднем 50 ламп в день. И ENIAC в этом был не одинок.

6.4. Первые отечественные ЭВМ

Первые ЭВМ в СССР появились только в 1951 г., зато сразу две: ≪М-1≫ в Москве и ≪МЭСМ≫ в Киеве. *Автоматическая цифровая вычислительная*

машина «М-1» была разработана в 1950—1951 гг. в Лаборатории электросистем Энергетического института АН СССР под руководством члена-корреспондента АН СССР И. С. Брука. В ней были реализованы идеи И. С. Брука и Б. И. Рамеева, защищенные Авторским свидетельством СССР за № 10475 с приоритетом от 4 декабря 1948 г.

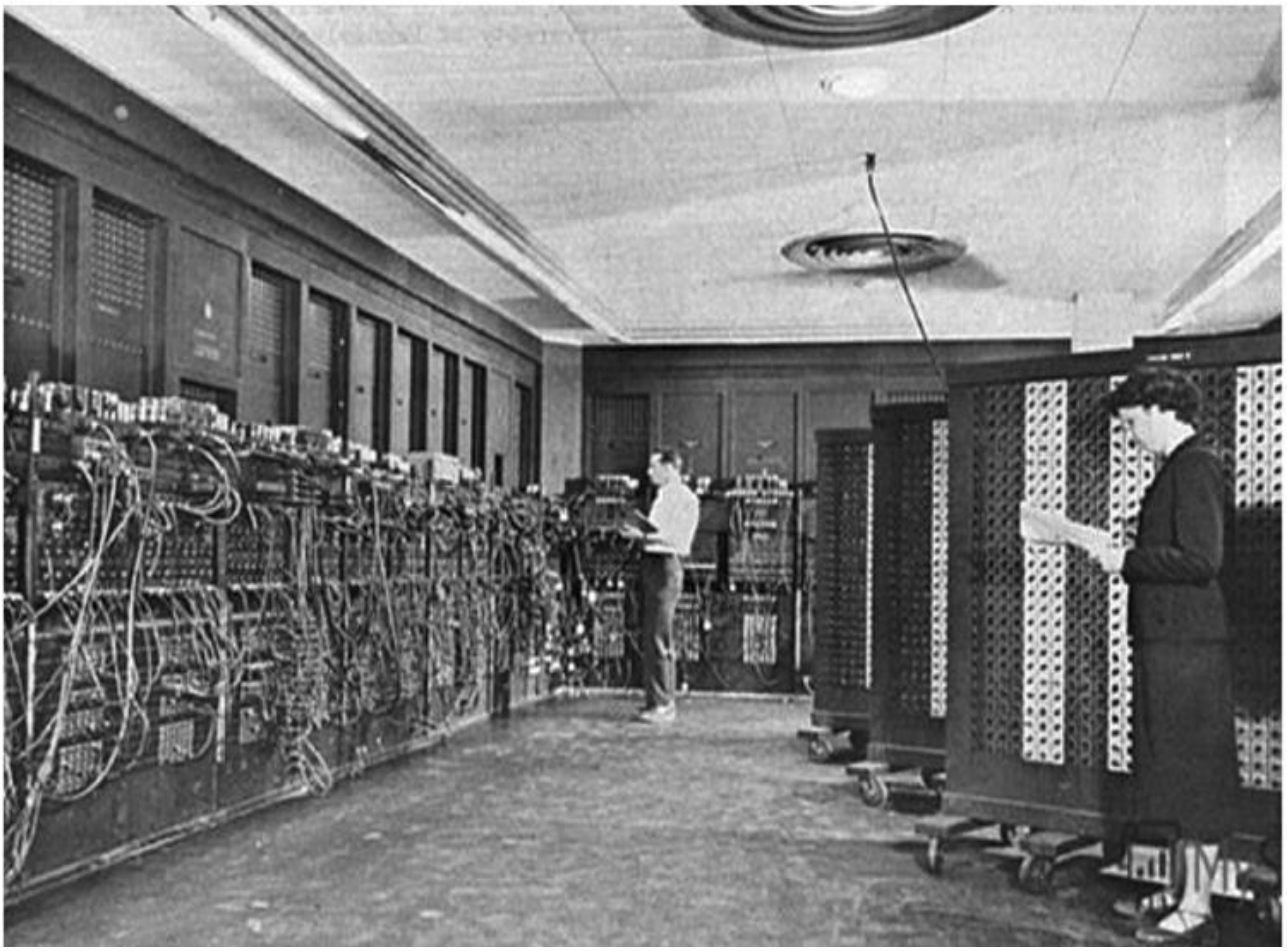

Рис. 6.4. Фрагмент машинного зала ЭВМ ENIAS

В группу входили пять инженеров — выпускников и дипломников радиотехнического факультета МЭИ и три техника.

Характеристики ЭВМ «М-1»:

• Система счисления: двоичная, 25 разрядов в машинном слове.

• Быстродействие: 15—20 оп/с над 25-разрядными словами

(24 разряда — модуль числа и 1 разряд — знак числа).

• Память: 256 слов на магнитном барабане («медленная» память),

256 слов на электростатических электронно-лучевых трубках («быстрая» память).

• Система команд: двухадресная.

• Элементная база: 730 электровакуумных ламп; немецкие купроксные диоды, полученные по репарациям.

• Потребляемая мощность: 8 кВт.

• Занимаемая площадь: 9 м²

Малая электронная счетная машина ≪МЭСМ≫ разрабатывалась в 1949—1951 гг. лабораторией академика С. А. Лебедева в Институте электротехники АН УССР. В декабре 1951 г. ЭВМ была испытана и принята комиссией АН СССР во главе с академиком М. В. Келдышем и передана в эксплуатацию.

Характеристики ЭВМ ≪МЭСМ≫:

• Арифметическое устройство универсальное, параллельного действия, на триггерных ячейках.

• Представление чисел: двоичное, с фиксированной запятой, 16 двоичных разрядов на число, плюс один разряд на знак.

• Система команд: трехадресная, 20 двоичных разрядов на команду. Первые 4 разряда — код операции следующие 5 — адрес первого операнда, еще 5 — адрес второго операнда, и последние 6 — адрес для результата операции. В некоторых случаях третий адрес использовался в качестве адреса следующей команды.

Операции: сложение, вычитание, умножение, деление, сдвиг, сравнение с учетом знака, сравнение по абсолютной величине, передача управления, передача чисел с магнитного барабана, сложение команд, остановка.

Оперативная память на триггерных ячейках, для данных на 31 число, для команд — на 63 команды.

• Постоянная память штекерная, для данных — на 31 число, для команд — на 63 команды.

• Тактовая частота: 5 кГц.

• Быстродействие: 5 оп/с (полное время одного цикла составляет 17,6 мс; операция деления занимает от 17,6 до 20,8 мс).

• Количество электронных ламп: около 6000 (около 3500 триодов и 2500 диодов).

• Занимаемая площадь: 60 м2.

• Потребляемая мощность: около 25 кВт.

Электронная вычислительная машина ≪Стрела≫

Разработана в 1953 г. в СКБ-245 (с 1958 г. —НИИ электронного машиностроения (НИЭМ), с 1986 г. — НИИ ≪Аргон≫), Москва. Главный конструктор: Юрий Яковлевич Базилевский. Среди конструкторов был Александр Михайлович Ларионов (зав. кафедрой ВТ МИРЭА).

Выпущено 7 экземпляров ЭВМ (рис. 6.5).

Рис. 6.5. Ламповая ЭВМ «Стрела»

Электронная цифровая вычислительная машина ≪Урал-1≫

Разработана в 1955 г. также в СКБ-245, Москва. Главный конструктор: Башир Искандерович Рамеев. ЭВМ ≪Урал-1≫ серийно выпускалась в 1956—1961 гг. Пензенским заводом САМ. Всего было выпущено 183 ЭВМ.

Элементная база — ламповые схемы (в основном лампы 6Н8) (рис. 6.5), диодно - резисторные вентили.

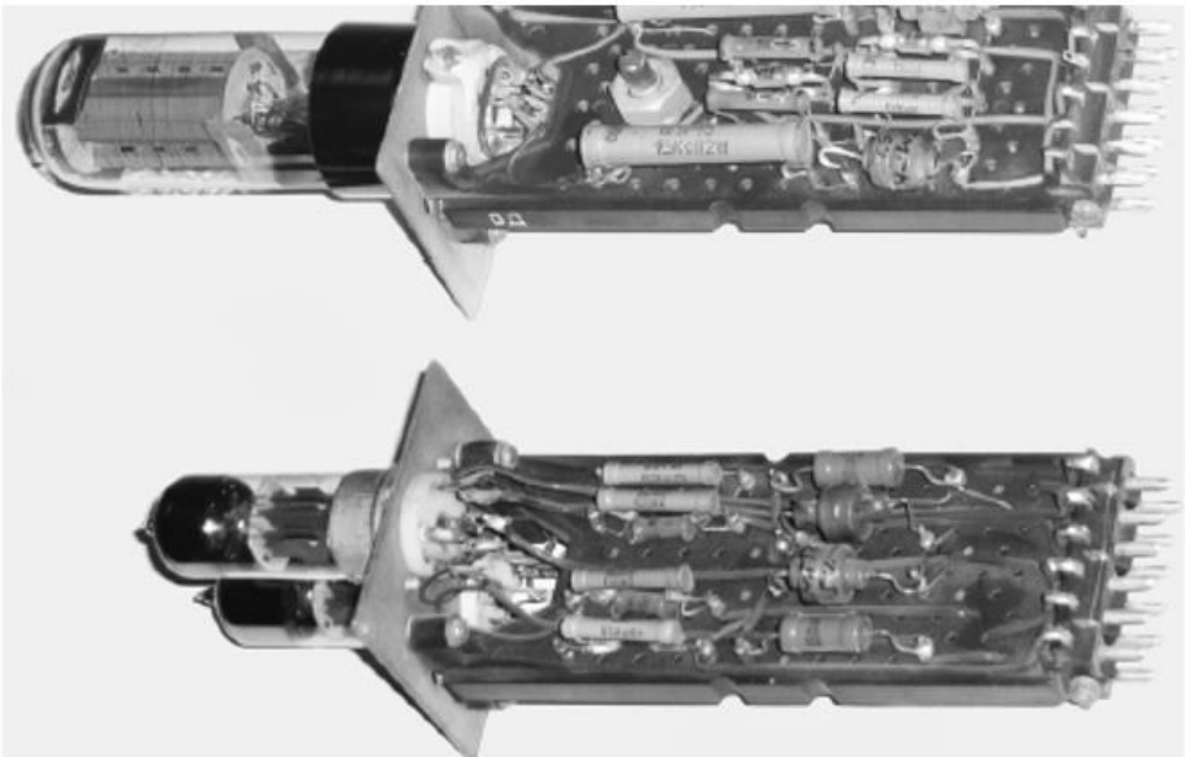

Рис. 6.6. Ячейки ЭВМ «Урал – 1»

6.5. Монтаж электронной аппаратуры

Конструктивно электронная аппаратура представляет собой совокупность электронных элементов, соединенных между собой методом пайки, накрутки, зажимов, микросварки, разъемных соединений и иными способами согласно электрической схеме. Это соединение называется монтажом электронной аппаратуры.

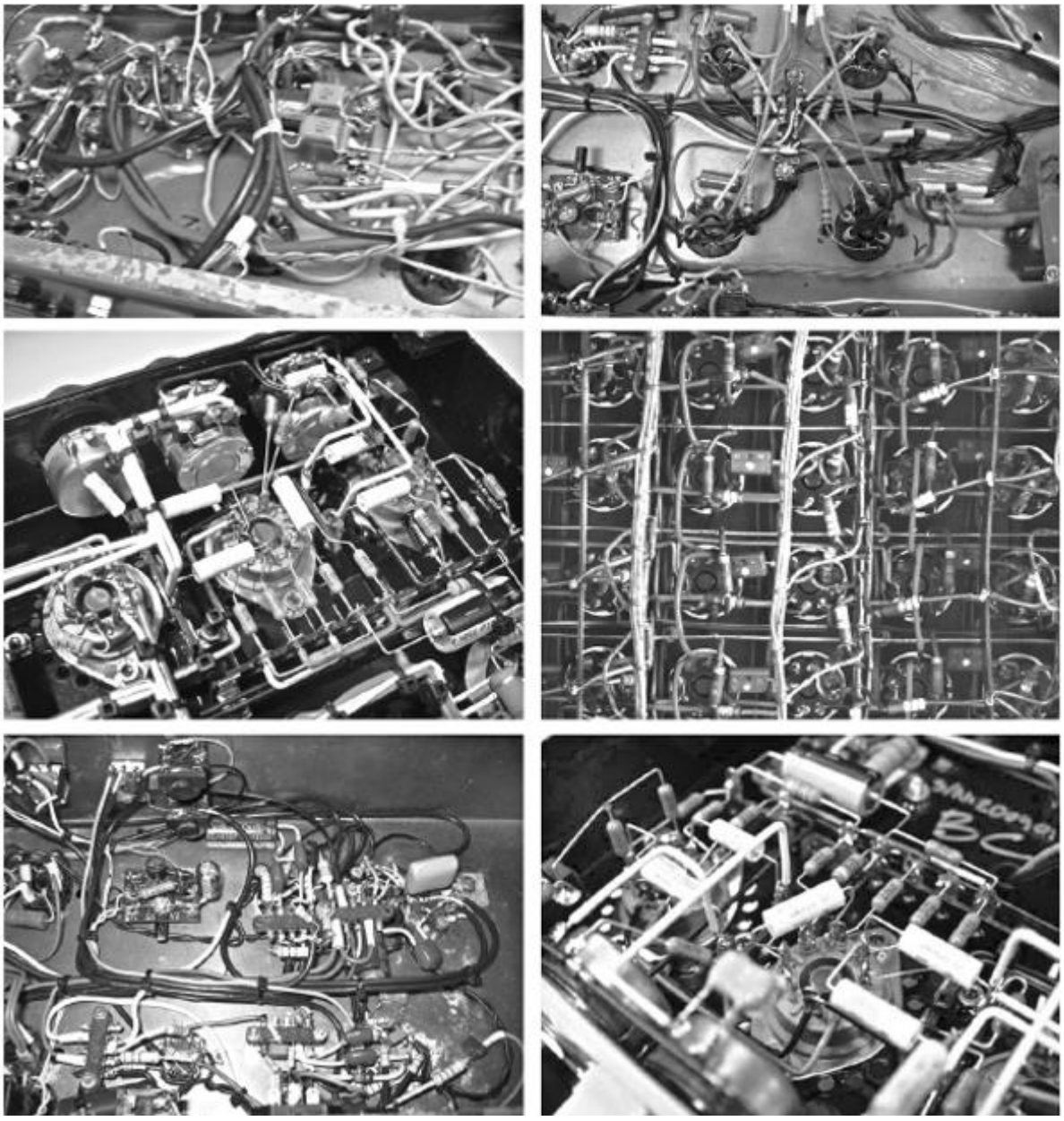

Рис. 6.6. Примеры объемного (навесного) монтажа электронной апаратуры

При объёмном монтаже (рис. 6.6) элементы соединяются между собой либо непосредственно их выводами, либо при помощи проводов или специальных соединительных элементов. При этом электронные элементы и соединяющие их элементы произвольно размещаются в пространстве.

Такой монтаж был трудоемкой, принципиально не автоматизируемой ручной работой, В результате изделия требовали индивидуальной настройки, составляющей значительную долю в трудоемкости производства и ремонта аппаратуры. На предприятиях радиоэлектроники существовала престижная должность регулировщика, на которой в основном работали инженеры.

В годы войны, проектируя радиовзрыватели малых размеров, английские и американские ученые изобрели печатный монтаж.

Главное преимущество печатного монтажа заключается в том, что его технология легко автоматизируется. Это позволило перевести производство РЭА на индустриальные методы и тем самым резко расширило области применения различной электроники. Кроме того, печатный монтаж повысил плотность компоновки аппаратуры, ее надежность, сделал реальной реализацию более сложных устройств (рис. 6.7).

Исключались ошибки монтажника, существенно повысилась повторяемость электродинамических параметров устройств, что привело к значительному сокращению работ по их настройке при изготовлении, ремонте и модернизации. При этом существенно упростилась конструкция РЭА, снизилась ее стоимость.

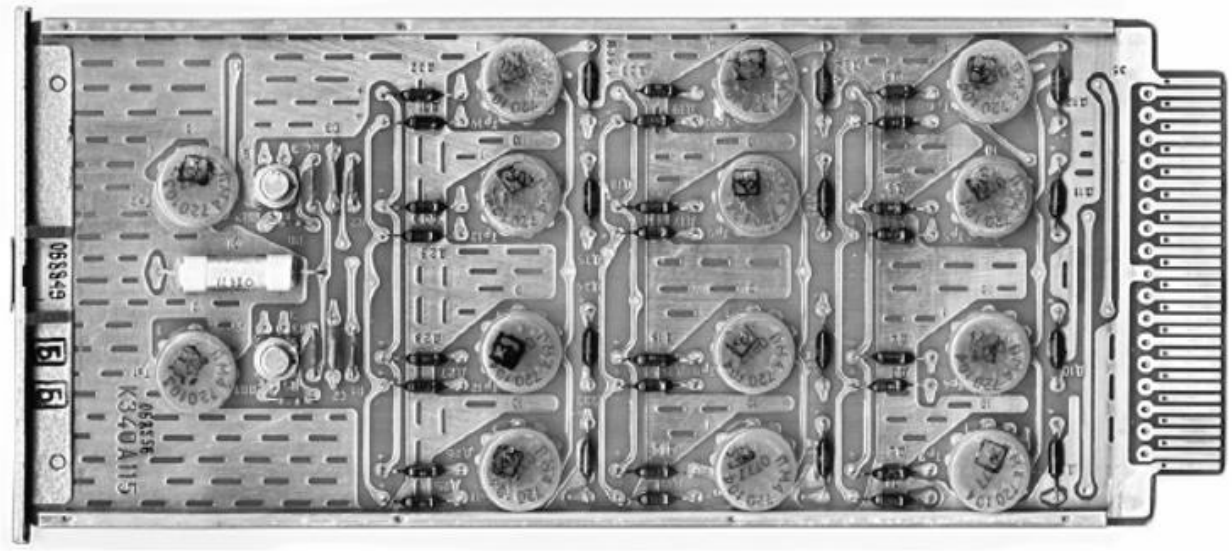

Рис. 6.7. Ячейка ЭВМ «К340А» - пример печатного монтажа

Дальнейшее развитие авиационной, ракетно-космической, вычислительной техники и иной электроники привело к необходимости существенного улучшения таких важных эксплуатационных характеристик радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры, как габариты, вес, рассеиваемая мощность, быстродействие и надежность. Это вызвало интенсивные работы по миниатюризации радиокомпонентов, используемых в аппаратуре.

Печатный монтаж оказался полезен не только для электронной аппаратуры, но и для микроэлектроники, став ее принципиальной основой. Ведь господствующая в микроэлектронике уже более полувека планарная технология есть не что иное, как перенесение на иную технологическую основу принципов печатного монтажа. Используются те же методы фотолитографии, только раз меры на порядки меньшие.

Показаны фрагменты топологии печатной платы и кристалла ИС (рис. 6.8).

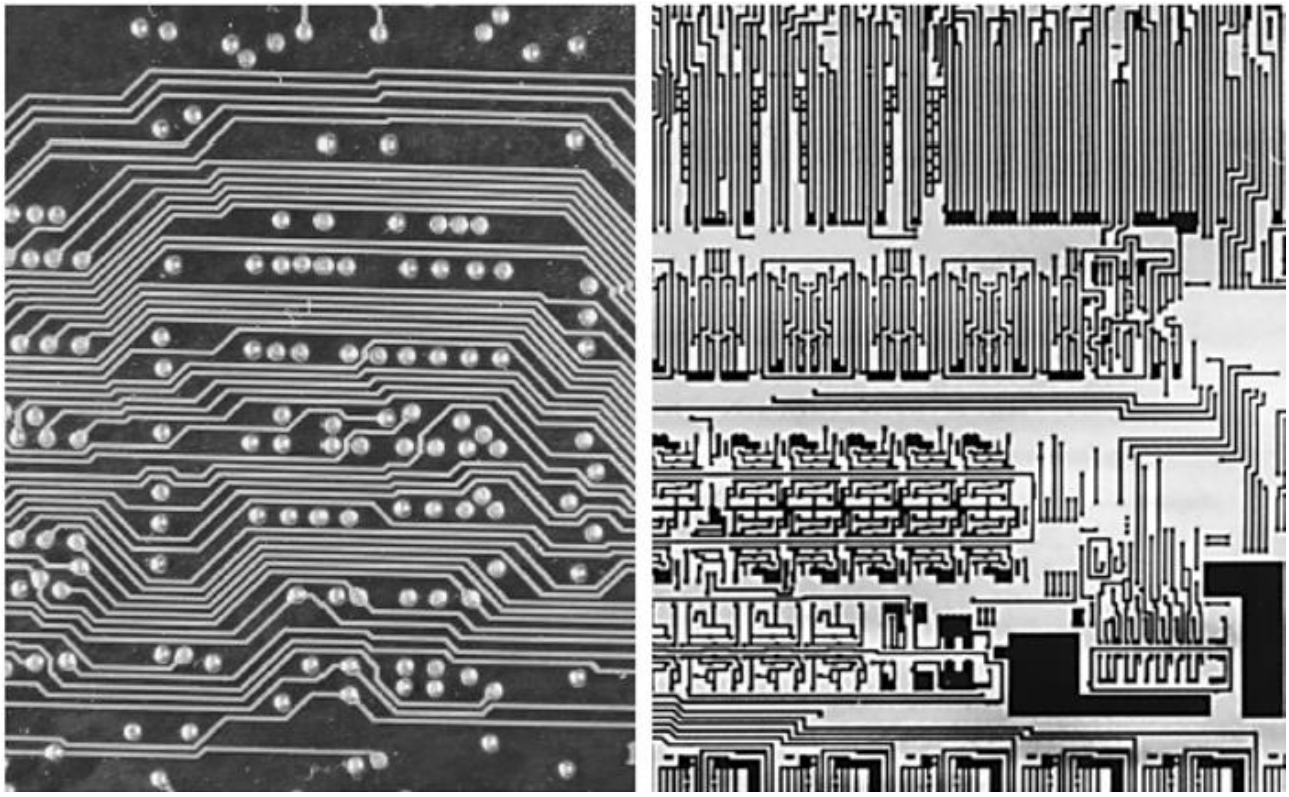

Рис. 6.8. Фрагменты топологии печатной платы и кристалла ИС

6.6. ЭВМ второго поколения

6.6.1. Появление и развитие полупроводниковых приборов

Многие годы ученые США, Германии, СССР и некоторых других стран занимались серьезными научными исследованиями в области физики полупроводников. Советские ученые внесли в это общее дело огромный вклад. Очень много было сделано школой физики полупроводников ленинградского Физико-технического института — его директора академика А. Ф. Иоффе с полным правом можно назвать пионером мировых исследований по физике полупроводников. В 1931 г. он опубликовал статью с пророческим названием ≪Полупроводники — новые материалы электроники≫. Немалую заслугу в исследование полупроводников внесли Б. В. Курчатов и В. П. Жузе.

Существенный вклад в исследование свойств полупроводников внесли И. В. Курчатов, Ю. М. Кушнир, Л. Д. Ландау, В. М. Тучкевич, Ж. И. Алферов и др. Таким образом, к концу 40-х гг. XX в. основы теоретической базы для создания транзисторов были проработаны достаточно глубоко, чтобы приступать к практическим работам.

В 40-е годы в США и Германии начались активные работы по изобретению и исследованию усилителей на полупроводниковых материалах, аналогичных ламповым триодам. Их стали называть транзисторы.

В 1945 г. в компании Bell Labs (США) под руководством Шокли была создана сильная команда из физиков, химиков и инженеров для работы над твердотельными приборами. В нее вошли Уолтер Браттейн и физик-теоретик Джон Бардин (рис. 6.9).

23 декабря 1947 г. прибор был продемонстрирован руководству фирмы Bell Labs., этот день и считается датой рождения транзистора (от англ. **Tran**sver Re**sistor** — трансформатор сопротивлений) (рис. 6.9).

Рис. 6.9. Слева направо: Уильям Шокли, Джон Бардин (сидит), Уолтер Браттейн

На рис. 6.10 показана структура транзистора Бардина – Брайттена.

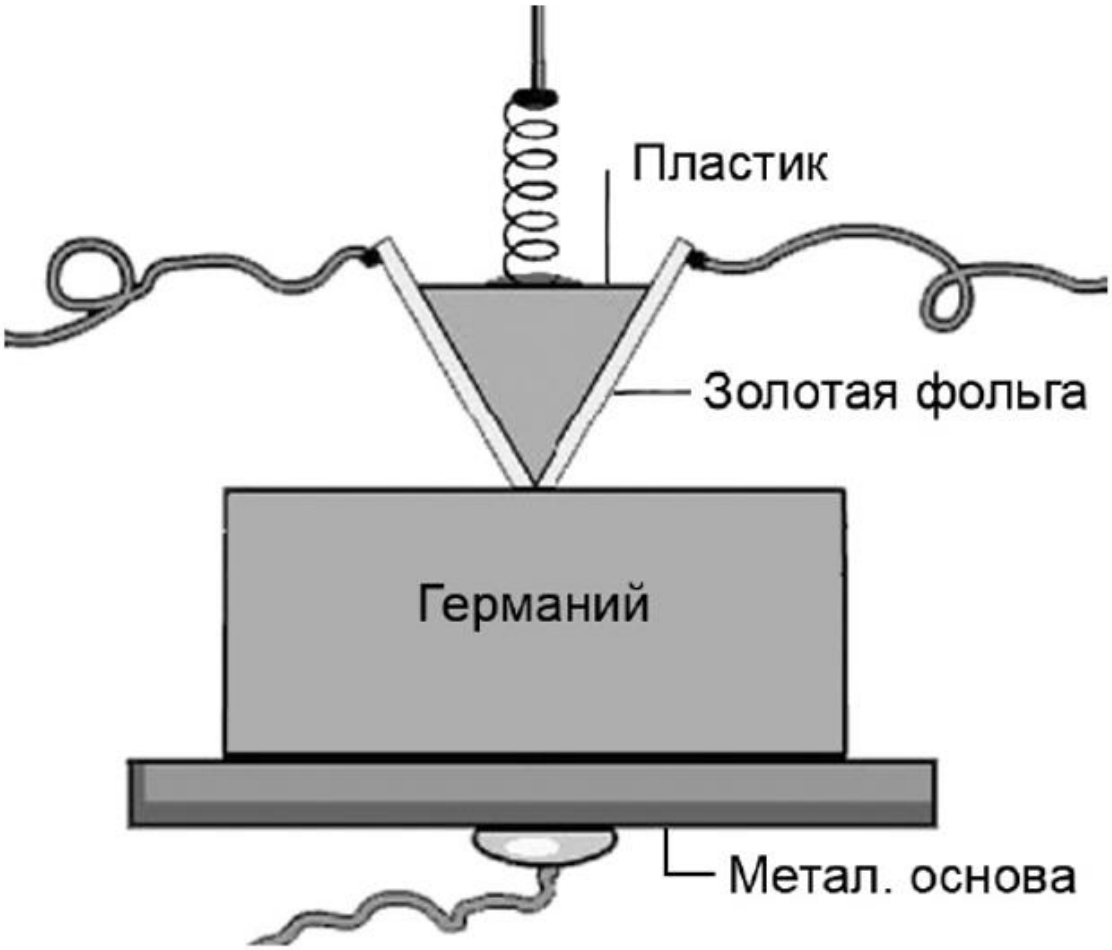

Рис. 6.10. Структура транзистора Бардина – Брайттена

В октябре 1954 г. — первый транзисторный (он же и первый карманный) радиоприемник Regency TR1, в нем использовалось всего четыре германиевых транзистора.

В 1955 году в СССР были выпущены первые транзисторы (рис. 6.11).

Рис. 6.11. Первые промышленные советские транзисторы:
точечный (слева) и плоскостной

В 1953 году было принято решение об организации специализированного отраслевого НИИ (НИИ-35, позже — НИИ ≪Пульсар≫), развёртывании работ в АН СССР, в том числе создании института полупроводников, и учреждении Межведомственного Совета по полупроводникам под председательством известного ученого, члена-корреспондента АН СССР, зам. министра В. И. Сифорова. В МЭИ была организована кафедра полупроводников под руководством Н. Г. Дроздова. В организованный НИИ-35 была переведена из НИИ-160 лаборатория А. В. Красилова, сотрудники которой позднее в большинстве своем стали лидерами отечественной полупроводниковой промышленности, а институт — головным предприятием в СССР и признанным лидером в этом направлении науки и технологии. В 1955 г. началось промышленное производство транзисторов на заводе ≪Светлана≫ в Ленинграде, а при заводе создано ОКБ по разработке полупроводниковых приборов.

В 1956 г. московский НИИ-311 с опытным заводом переименован в НИИ ≪Сапфир≫ с заводом ≪Оптрон≫ и переориентирован на разработку полупроводниковых диодов и тиристоров.

На протяжении 50-х гг. в НИИ-35 был разработан ряд новых технологий изготовления плоскостных транзисторов: сплавная, сплавно-диффузионная, меза - диффузионная (двойная диффузия n и p областей) и др.

Полупроводниковая промышленность СССР развивалась достаточно быстро: в 1955 г. было выпущено 96 тыс., в 1957 г. — 2,7 млн, а в 1966 г. — более 11 млн транзисторов. Однако жизнь требовала большего.

Системы автоматизированного управления различными объектами и вычислительная техника развивались стремительными темпами, выполняя все более сложные функции и требуя для этого все больших аппаратных ресурсов. Особенно это проявлялось в военной технике — на борту самолета и ракеты, с их ограниченными габаритами и весом, не удавалось разместить требуемые электронные системы. Ситуацию несколько улучшило создание миниатюрных элементов (транзисторов и диодов в микрокорпусах, миниатюрных резисторов, конденсаторов и др.), но в целом проблемы это не решило.

В США и в СССР началось производство микромодулей.

Микромодуль представлял собой неделимое и неремонтируемое функционально-конструктивное изделие, реализующее простейший законченный функциональный модуль: усилитель, триггер, логический элемент и т. п. (рис. 6.12).

Микромодули широко применялись в авиационной, ракетной и космической малогабаритной электронной аппаратуре с повышенной надежностью. Фактически микромодули были прототипом гибридных интегральных схем, выполненным пока еще на основе дискретных элементов.

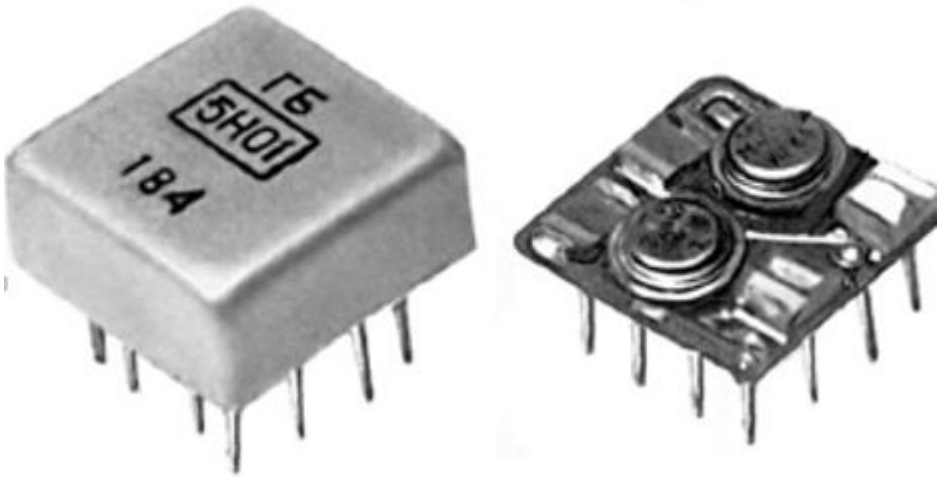

Рис. 6.12. Плоский микромодуль, усилитель звуковых частот

Применение микромодулей обеспечивает высокую плотность упаковки РЭА (5—30 элементов на 1 $см^3$) и на порядок более высокую, чем ранее, надежность, что спустя десятилетия(!) не раз подтверждалось отличной боеготовностью микромодульной аппаратуры, затаившейся в наших и американских ракетных шахтах.

С появлением и широким распространением интегральных схем (ИС) отпала необходимость применения дискретных транзисторов в логических и иных схемах внутри устройств, эти области применения с успехом взяли на себя транзисторы, интегрированные в микросхемы.

6.6.2. Вычислительная техника 2-го поколения

В 1960 г., по приглашению Ф. В. Лукина, тогда директора НИИ-37 (НИИДАР), Давлет Исламович Юдицкий переходит в НИИ-37 на должность начальника отдела, где возглавляет разработку ЭВМ ≪А340А≫ и, *главное, двух мощных модулярных ЭВМ ≪Т340А≫ и ≪К340А≫ для радиолокационных станций системы ПРО*.

Модулярные ЭВМ использовали для вычислений систему остаточных классов (СОК). В системе остаточных классов каждое число, многоразрядное в позиционной системе счисления, представляется в виде нескольких малоразрядных позиционных чисел, являющихся остатками от деления исходного числа на попарно взаимно простые основания. В обычной позиционной двоичной системе выполнение операций (например, сложение двух

чисел) производилось последовательно по разрядам, начиная с младшего. При этом образуются переносы в следующий старший разряд, что и определяет поразрядную последовательность обработки. В СОК появилась возможность распараллелить этот процесс: все операции над остатками по каждому основанию выполняются отдельно и независимо (параллельно), следовательно, в связи с их малой разрядностью — легко и быстро. Операция в СОК при табличной арифметике и соответствующей конвейеризации выполняется за один период синхронизирующей частоты (машинный такт)

Впервые о системе остаточных классов (СОК) научная общественность узнала в 1955 г. из статьи чехов Миро Валаха и Антонина Свободы.

СОК резко повысила общую надежность модулярных ЭВМ ≪К340-А≫ и ≪5Э53≫ (о них ниже) по сравнению с современными им машинами.

На НИИДАР были разработаны ЭВМ ≪Т340А≫ и ≪А340А≫, которые активно использовались в качестве стенда при построении РЛС дальнего обнаружения ≪Дунай-3УП≫ на Сары-Шаганском полигоне ПРО.

ЭВМ была построена на основе феррит-транзисторной логики, реализованной на дискретных транзисторах 1Т308В и ферритовых сердечниках.

Узел системы дальнего обнаружения (СДО) целей ПРО ≪А-35≫ в составе двух РЛС ≪Дунай-3У≫, созданный в 1969—1976 гг. недалеко от г. Чехова в Московской области, в 1978 г. после серии положенных для таких объектов испытаний был принят на вооружение в режиме ≪Боевая работа≫. В СДО применено 20 комплектов ЭВМ ≪К340А≫ выпуска 1968—1976 гг., по 10 ЭВМ в каждой РЛС.

РЛС ≪Дунай-3У≫ и ЭВМ ≪К340А≫ в ее составе проработали уже 40 лет и продолжают свою верную службу (2013 г.)

Изготовители: опытный завод при НИИ-37 и Свердловский завод радиоаппаратуры, в 1966—1976 гг. выпущено более 50 комплектов.

Разрядность данных и команд — 45 бит.

Форма представления команд — двоичная.

Трехадресная, две операции в одной команде.

Система счисления — СОК.

Форма представления чисел в АУ при выполнении арифметических операций в СОК с фиксированной запятой.

Система команд содержит полный набор арифметических, логических и управляющих операций с развитой системой индикации.

Команды АУ и УУ трехадресные относительно буферного накопителя (БН), команды обмена между БН и накопительной системой — двухадресные.

Время выполнения коротких операций [арифметических (в том числе умножения), логических, операций сдвига на n разрядов (n = 1, …, 45), операций индексной арифметики, операций передачи управления] составляет один стандартный машинный такт, равный 1 мкс.

Максимальное быстродействие — 1,25 млн двухоперационных оп/с (в общепринятом тогда исчислении — 2,5 млн оп/с).

Элементная база — транзисторы, диоды, ферриты и т. п.

Потребляемая мощность — 33 кВт.

Размер шкафа — 900 × 700 × 2200 мм.

Количество шкафов — 20, расположенных в 3 ряда.

Т340А/К340А принадлежит несколько мировых рекордов.

Это первая в мире ЭВМ с быстродействием более 1 млн оп/с.

Рис. 6.13. ЭВМ «К340А» - 20 шкафов в три ряда, инженерный пульт и регистратор

6.7. Система А-35

В постановлении от 8 апреля 1958 г. и ≪Плановом задании Минобороны≫ (ПЗМО) требовалось создать систему ПРО Москвы А-35 от конца 1959 г.

Тогда система А-35 рассматривалась в качестве первой системы региональной защиты. Вслед за ней должны были разворачиваться аналогичные

системы защиты других стратегических регионов, впоследствии связанных в единую систему.

При неядерном поражении цели, на котором первоначально настаивал заказчик, требовалась высокая точность наведения противоракеты: ее головная часть должна была подрываться на расстоянии не более 50 м от цели. Гарантированное наведение противоракеты с такой точностью одним радиолокатором тогда было невозможно. Поэтому противоракета наводилась тремя радиолокаторами, расположенными в вершинах равностороннего треугольника на удалении 150 км друг от друга. Именно поэтому в Системе А было три РТН.

Позже от метода трех дальностей отказались и разрешили применять ядерный заряд противоракеты.

В 1958 году предусматривалось построение в Сары-Шагане полигонного варианта Системы А-35 сокращенного состава. Этот комплекс получил условное наименование ≪Алдан≫. Три боевых комплекса строились в Подмосковье.

Комплекс «Алдан» включал:

• главный командно-вычислительный центр Системы — ГКВЦ (в ≪Алдане≫ в сокращенном варианте);

• систему дальнего обнаружения (СДО) из двух узлов РЛС ≪Дунай 3М≫ В. П. Сосульникова и двух ≪Дунай-3У≫ А. Н. Мусатова (в ≪Алдане≫ одна ≪Дунай-3УП≫);

• восемь двухканальных, рассчитанных на поражение парных целей (головная часть и корпус последней ступени ракеты) стрельбовых комплексов: ≪Тобол≫ — 5 шт. и ≪Енисей≫ — 3 шт. (в ≪Алдане≫ два ≪Енисея≫ и один ≪Тобол≫),

• противоракеты ≪А-350≫ П. Д. Грушина;

• система передачи данных (СПД) Ф. П. Липсмана.

Во всех объектах А-35 стояли 29 полупроводниковых ЭВМ 5Э92б А. С. Лебедева.

Главный командный пункт (ГКП) и многомашинный вычислительный комплекс на основе 29 ЭВМ 5Э92б (включая ЭВМ, физически стоящие в других подсистемах). ГКВЦ был построен в 70 км от Москвы в районе Кубинки, его здание примыкало к антенне РЛС дальнего обнаружения ≪Дунай-3М≫. ЭВМ 5Э92б была специально разработана по нашему заказу в ИТМ и ВТ, главный конструктор С. А. Лебедев и выпускалась Загорским электромеханическим заводом. Это была одна из первых в стране полностью полупроводниковых

ЭВМ, разработанная на основе архитектуры применённой в Системе А ламповой ЭВМ М-40 и полностью программно с ней совместимая, что позволяло без проблем обеспечить программную преемственность с Системой А.

Рис. 6.14. Здание СДО и передающие антенны

Каждый стрельбовой комплекс состоял из командного пункта, РЛС цели (РКЦ) Г. В. Кисунько, двух РЛС наведения противоракет (РКИ) Г.В Кисунько и двух огневых позиций с четырьмя открытого типа пусковыми установками И. И. Иванова на каждой.

В 1972-1974 годах система А-35 была принята в эксплуатацию.

Глава 7. Зарождение и становление отечественной микроэлектроники

7.1. Гибридная микроэлектроника

К концу 50-х гг. прошлого столетия технология сборки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) из дискретных элементов исчерпала свои возможности. Мир пришел к острейшему кризису РЭА, требовались радикальные меры. В СССР в марте 1961 г. электронная промышленность выделяется в самостоятельную отрасль (Госкомитет по электронной технике — ГКЭТ, преобразованный в 1965 г. (при реорганизации госкомитетов в отраслевые министерства с передачей им промышленных предприятий) в Минэлектронпром — МЭП) во главе с министром Александром Ивановичем Шокиным.

Электроника вступила в новый этап своего развития — этап интегральной электроники.

К интегральным схемам (микросхемам, ИС) относятся электронные устройства различной сложности, в которых все однотипные элементы изготавливаются одновременно в едином технологическом цикле, т. е. по интегральной технологии.

За почти шесть десятилетий своего развития в интегральной электронике развилось три основных класса: гибридная микроэлектроника, полупроводниковая микроэлектроника (и возникшая из нее микромеханика) и наноэлектроника (наномеханика).

В гибридных ИС (ГИС) по интегральной технологии на поверхности подложки микросхемы (как правило, из керамики) формируются пассивные элементы (резисторы, конденсаторы, соединительные проводники). Активные элементы (диоды, транзисторы и полупроводниковые ИС) в виде кристаллов устанавливаются на подложку индивидуально. По методу формирования пассивных элементов различают толстопленочные и тонкопленочные ГИС. К толстопленочным относят ГИС, пассивные элементы которых изготавливаются методом шелкографии с нанесением и вжиганием в подложку проводящих, резистивных и изоляционных паст. В тонкопленочных ИС пассивные элементы формируются методом термовакуумного распыления или катодного осаждения соответствующих материалов на подложку через маску.

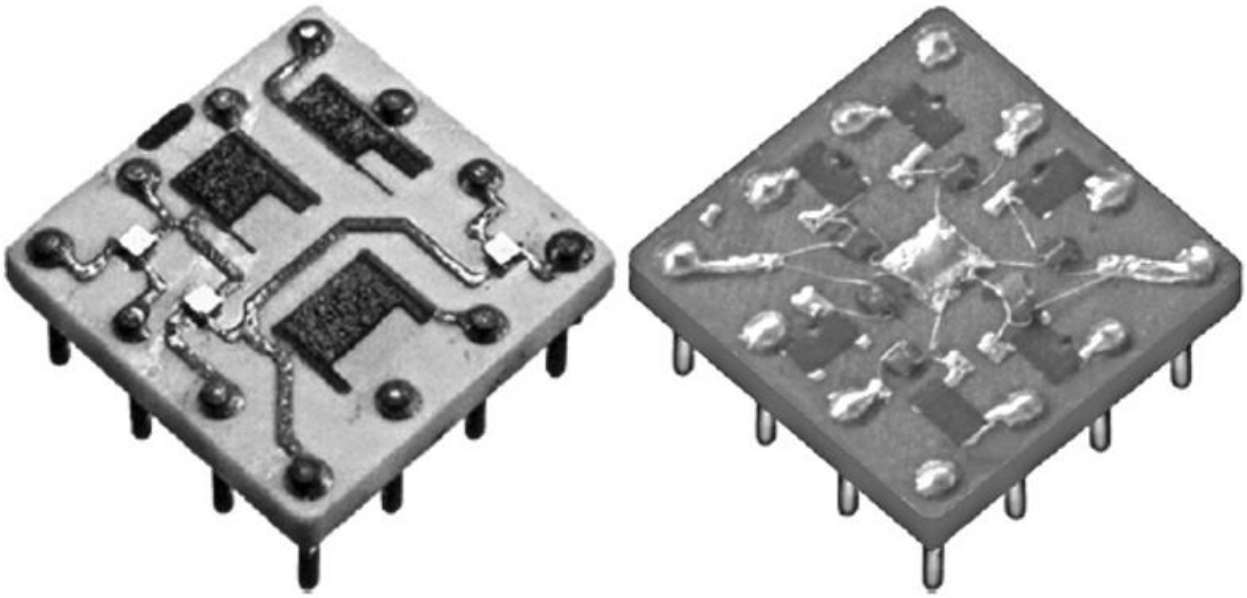

Рис. 7.1. Толстопленочные ГИС фирмы IBM и НИИТТ

В начале 50-х гг. в фирме RCA изобрели тонкопленочную технологию: распыляя в вакууме различные материалы и осаждая их через маску на специальные подложки, научились на единой керамической подложке одновременно изготавливать множество миниатюрных пленочных соединительных проводников, резисторов и конденсаторов.

А далее были использованы те же технические решения, что и в толстопленочных ГИС: установка активных элементов, герметизация в отдельном корпусе, стандартизация размеров, типовых параметров и т. п. Получилась тонкопленочная ГИС (рис. 7.2).

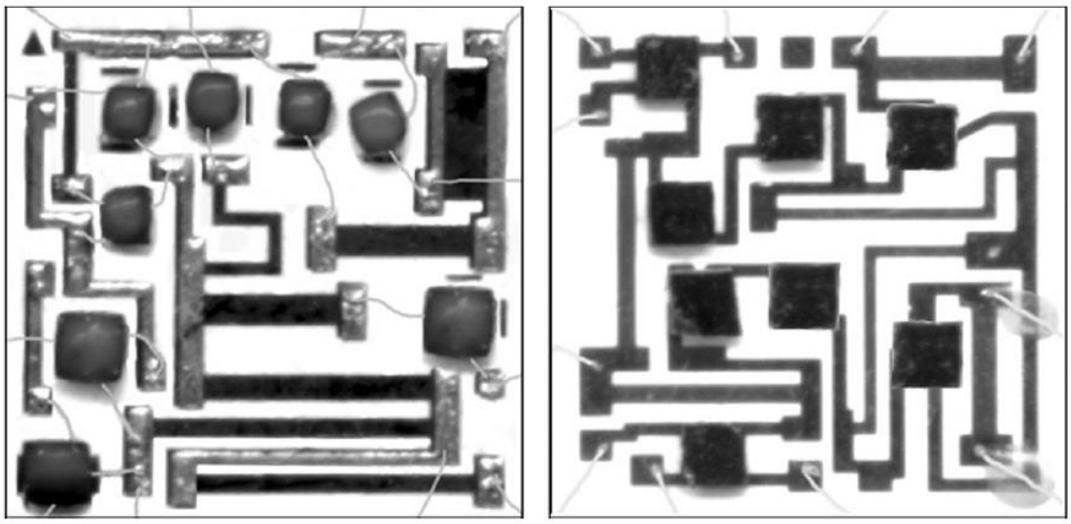

Рис. 7.2. Подложка тонкопленочной ГИС серии «ПОСОЛ» с элементами с «волосатыми» (слева) и шариковыми выводами

По сравнению с толстопленочной, тонкопленочная технология обеспечивала возможность более точного изготовления элементов топологии меньших размеров. Это, наряду с обеспечением более высокой плотности компоновки ГИС, дало возможность заменить ≪волосатую≫ технологию монтажа активных элементов тонкими золотыми проводами (очень трудоемкую и на том уровне развития не автоматизируемую) на технологию с шарикоыми выводами.

Первыми разработками ГИС в нашей стране были модули ≪Квант≫ НИИРЭ (Ленинград, 1963 г.) и ГИС ≪Тропа≫ НИИТТ (Зеленоград, 1964 г.).

7.2. Полупроводниковая микроэлектроника

Идея ИС была оглашена еще в 1952 г., до появления групповых методов изготовления полупроводниковых приборов.

На ежегодной конференции по электронным компонентам, проходившей в Вашингтоне, сотрудник Британского королевского радиолокационного управления в Малверне Джеффри Даммер представил доклад о надежности элементов радиолокационной аппаратуры. В докладе он огласил пророческое утверждение: ≪*С появлением транзистора и работ в области полупроводниковой техники вообще можно себе представить электронное оборудование в виде твердого блока, не содержащего соединительных проводов. Блок может состоять из слоев изолирующих, проводящих, выпрямляющих и усиливающих материалов, в которых определенные участки вырезаны таким образом, чтобы они могли непосредственно выполнять электрические функции*≫.

Первыми оказались Джек Килби из Texas Instruments (TI), Роберт Нойс из Fairchild (оба из США) и Юрий Валентинович Осокин из КБ Рижского завода полупроводниковых приборов (СССР). Американцы создали экспериментальные образцы интегральных схем: Дж. Килби — макет ИС генератора (1958 г.), а затем триггер на меза-транзисторах (1961 г.), Р. Нойс — триггер по планарной технологии (1961 г.), а Ю. Осокин — сразу пошедшую в серийное производство логическую ИС ≪2НЕ-ИЛИ≫ на германии (1962 г.). Серийное производство ИС все они начали почти одновременно, в 1962 г.

24 июля 1958 г. Килби сформулировал в лабораторном журнале концепцию, получившую название ≪Идея монолита≫ (Monolithic Idea). Ее суть заключалась в том, что ≪…*элементы схемы, такие как резисторы, конденсаторы, распределенные конденсаторы и транзисторы, могут быть интегрированы в одну микросхему — при условии, что они будут выполнены из одного*

материала…В конструкции триггерной схемы все элементы должны изготавливаться из кремния, причем резисторы будут использовать объемное сопротивление кремния, а конденсаторы — емкости ***p – n*** *- переходов*≫.

Килби сделал генератора на 1,3 МГц.

ИС содержала шесть элементов: четыре меза-транзистора и два резистора. Но ИС Килби имела серьезный недостаток — меза-транзисторы, которые в виде микроскопических ≪активных≫ столбиков (мы на них обратили внимание, рассматривая транзисто ры) возвышались над остальной, ≪пассивной≫ частью кристалла. Соединение меза - столбиков друг с другом в ИС Килби осуществлялосьразвариванием тонких золотых проволочек — ненавистная всем ≪волосатая технология≫.

В марте 1961 г. Fairchild анонсировала первую опытную ИС этой серии (F - триггер, содержащий шесть элементов: четыре биполярных транзистора и два резистора, размещенных на пластине диаметром 1 см) с опубликованием ее фотографии в журнале ≪Life≫ (от 10 марта 1961 г.). Еще пять ИС были анонсированы в октябре, а с начала 1962 г. Изделие было выполнено по планарной технологии.

Fairchild развернула серийное производство ИС и поставки их также в интересах Минобороны США и НАСА.

Весной 1962 г. Рижскому заводу полупроводниковых приборов было предложено поискать пути реализации однокристальной многоэлементной схемы типа 2НЕ-ИЛИ — универсальной для построения цифровых устройств. Директор РЗПП поручил решить эту задачу 24-летнему инженеру Юрию Валентиновичу Осокину.

Перед Осокиным стояли принципиально новые задачи: разместить в одном кристалле два транзистора и реализовать в объеме кристалла германия (кремниевой технологии в РЗПП тогда не было) два резистора, исключив их паразитное взаимное влияние. Еще никто в стране не решал такие задачи, а в мире это сделали только Дж. Килби и Р. Нойс, но никакой информации об их работах в РЗПП и НИИРЭ тогда не было.

К концу 1962 г. РЗПП выпустил около 5000 ИС Р12-2, а в следующем, 1963 г. их было сделано несколько десятков тысяч. Таким образом, 1962 г. стал годом рождения микроэлектронной промышленности в США и СССР.

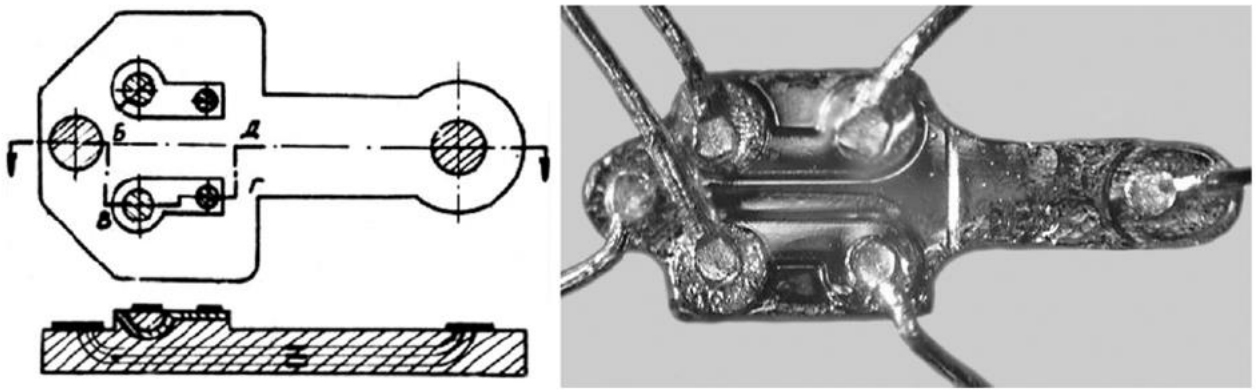

Рис. 7.3. Структура и фотография кристалла ИС Р12 – 2 (1ЛБ021)

Используя эту ИС, в НИИРЭ была разработана конструкция модуля ≪Квант≫ (генеральный конструктор А. Н. Пелипенко). Сделали металлическую штампованную чашечку размером 21,6 × 6,6 мм и глубиной 3,1 мм, в нее вставили микроплату из тонкого стеклотекстолита с впрессованными выводами длиной 4 мм. На платке разместили от двух до четырех ТС Р12-2, соединенных печатным монтажом по схеме, реализующей определенный функциональный узел. Микроплату разместили в металлическую чашечку и залили полимерным компаундом. В результате получилась гибридная интегральная схема. Это была первая в мире ГИС с двухуровневой интеграцией, в которой в качестве активных элементов были использованы не дискретные транзисторы и диоды, а полупроводниковые интегральные схемы.

Рис. 7.4. ИС серии 116 (модули «Квант»)

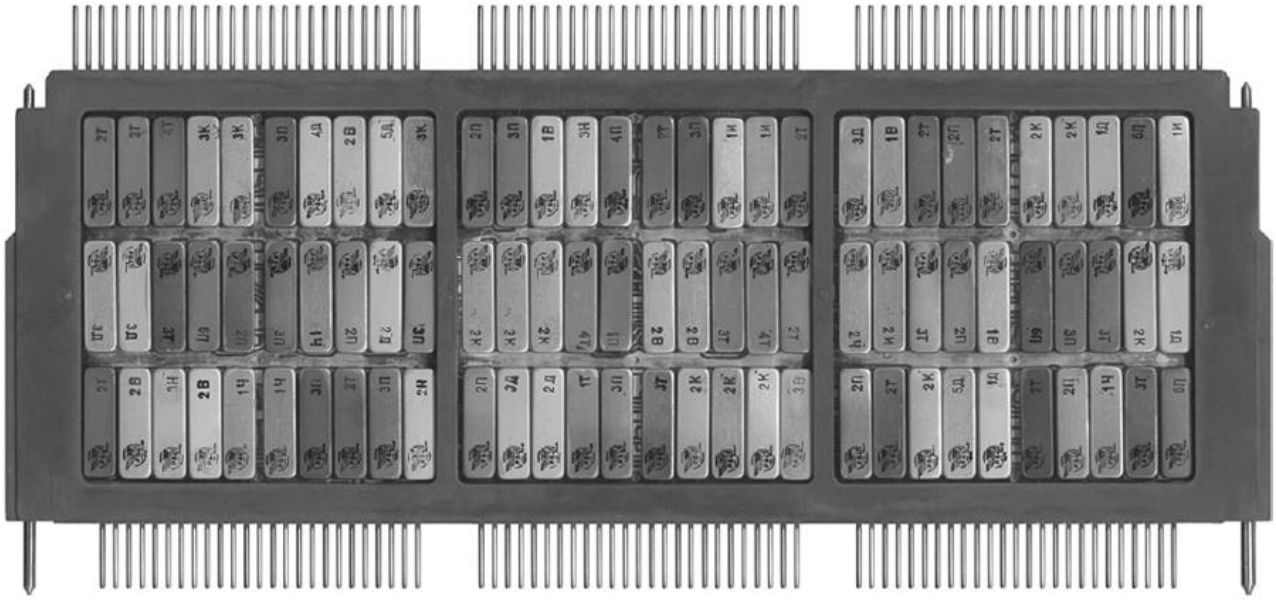

Рис. 7.5. Арифметическое устройство бортового компьютера «Гном» на ИС Р12 - 2

Идеи микроэлектроники начинают распространяться по стране.

К середине 60-х годов были созданы:

НИИ микроприборов (НИИМП);

НИИ точного машиностроения (НИИТМ),

НИИ точной технологии (НИИТТ),

НИИ Материаловедения (НИИМВ);

НИИ молекулярной электроники (НИИМЭ).

Важнейшее значение имело создание в Зеленограде научно-исследовательского экспериментального и производственного центра микроэлектроники (рис. 7.6).

Рис. 7.6. Сборочное производство завода «Ангстрем» в Зеленограде, 1967 г.

7.3. Вычислительная техника 3-го поколения

7.3.1. Модулярная арифметика в Зеленограде

Основной задачей Центра микроэлектроники (ЦМ) в Зеленограде было создание интегральных схем с целью повышения плотности упаковки, быстродействия и надежности электронного оборудования. Уже и при дискретной электронике, т. е. при построении электронной аппаратуры на основе отдельных транзисторов, диодов, резисторов и т. п., память составляла до половины объема ЭВМ. Единственным, запоминающим элементом в те времена был тороидальный ферритовый сердечник. Из сердечников изготавливались одноразрядные матрицы памяти (рис. 7.7). Эти матрицы складывались вместе, вокруг этого куба строились усилители записи и чтения, дешифраторы, регистры и масса других схем. Ферритовые сердечники имели относительно большие размеры и требовались большие токи на переключение сердечника. В результате выделялось много тепла.

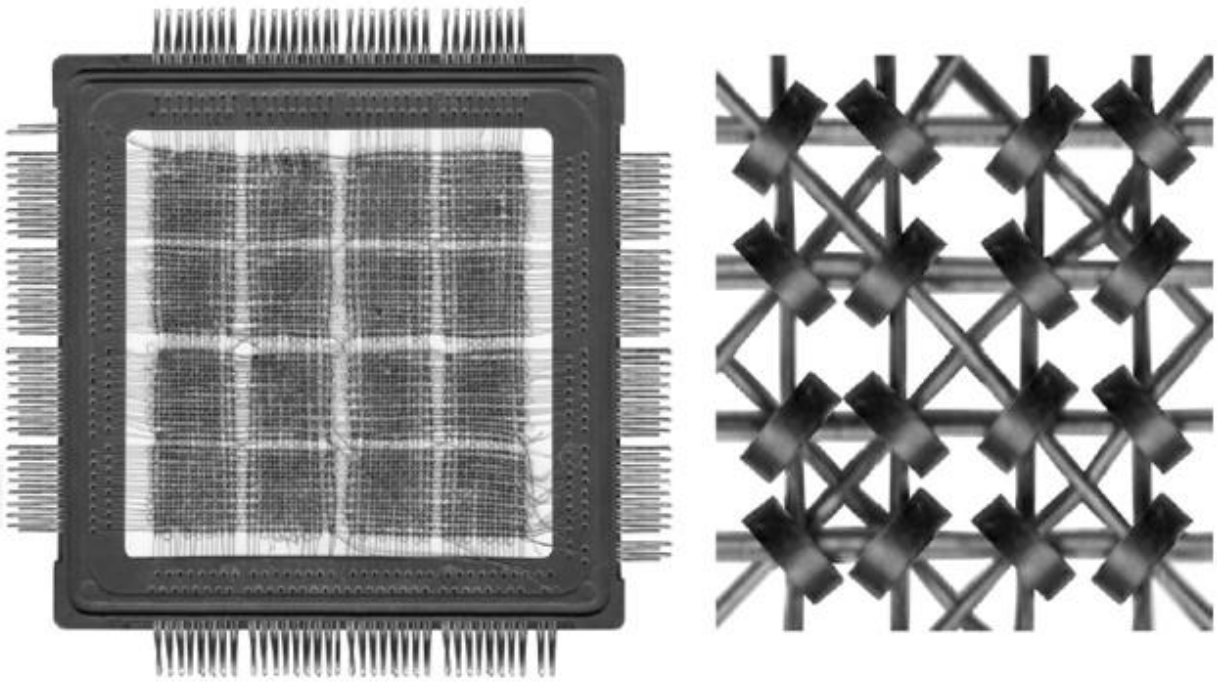

Рис. 7.7. Одноразрядная матрица ферритовой оперативной памяти

Для новых многоканальных стрелковых комплексов (МКСК) противоракетной обороны (ПРО) в Зеленограде под руководством Ф. В. Лукина (директор ЦМ), его заместителя Бутузова С.М. началась разработка эскизного проекта супер-ЭВМ ≪Алмаз≫.

Главным идеологом построения ЭВМ был Давлет Исламович Юдицкий (рис. 7.8).

Рис. 7.8. Организаторы разработки супер – ЭВМ «Алмаз» Ф.В. Лукин, Д.И. Юдицкий и С.М. Бутузов

В состав ЭВМ ≪Алмаз≫ было введено три типа вычислительных процессоров и выполнялась предварительная обработка радиолакационных сигналов.

В результате выполненных работ были решены многие проблемы проетирования высокопроизводительных супер – ЭВМ.

7.3.2. Супер-ЭВМ 5Э53

5Э53 была предназначена для решения следующих основных задач:

- обнаружение и сопровождение целей;
- селекция реальных целей среди ложных;
- наведение противоракет на цели;
- управление системами МКСК «Аргунь» и др.

Для 5Э53 было разработано ОЗУ данных на основе цилиндрических магнитных пленок (ЦМП) общей емкостью 7 Мбит с высокими временными характеристиками: темп выборки 166 нс, время цикла 700 нс. Каждый блок имел емкость 4096 64-разрядных слов (256 Кбит). В каждом шкафу размещалось по четыре таких блока с общей емкостью 1 Мбит. В комплект ЭВМ входило семь шкафов ОЗУ.

Для 5Э53 было разработано индукционное ППЗУ данных общей емкостью 2,9 Мбит, темп выборки 150 нс, время цикла 350 нс. Каждый блок имел емкость 1024 72-разрядных слов (72 Кбит). В каждом шкафу размещалось по восемь таких блоков с общей емкостью 576 Кбит. В комплект ЭВМ входило пять шкафов.

Основной элементной базой 5Э53 были гибридные ИС серий ≪Тропа≫ и ≪Посол≫, разработанные в НИИТТ и выпускаемые заводом ≪Ангстрем≫.

Для повышения быстродействия гибридных ИС специалистами СВЦ (Ю. Е. Чичерин (ГК), В. В. Овчинников, Б. В. Шевкопляс, **В. Л. Дшхунян** и др.) и завода ≪Экситон≫ (г. Павловский Посад) была разработана специальная серия гибридных интегральных микросхем на основе ненасыщенных элементов с пониженным напряжением питания, повышенным быстродействием и внутренним резервированием (серия 243, ≪Конус≫), которая многие годы после того выпускалась заводом ≪Экситон≫.

Монтажные работы в те годы частично выполнялись методом накрутки (рис. 7.9).

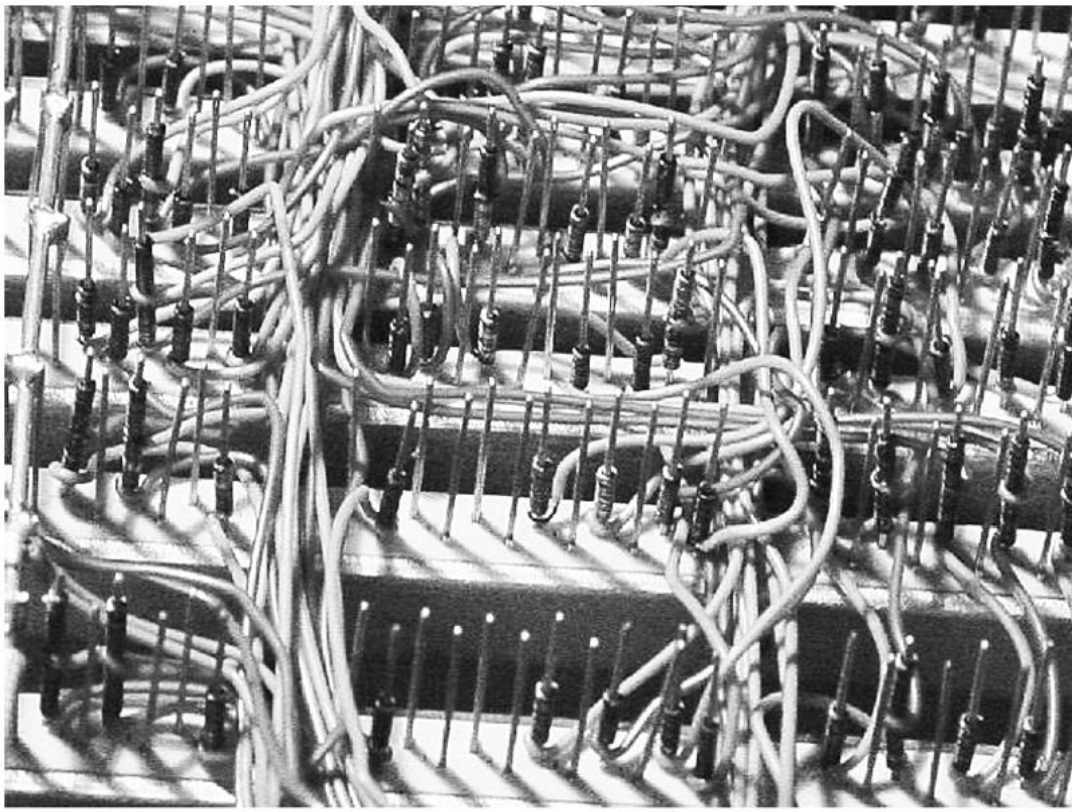

Рис. 7.9. Монтаж методом накрутки

На рис. 7.10. показан фрагмент экспериментального образца супер – ЭВМ «5Э53».

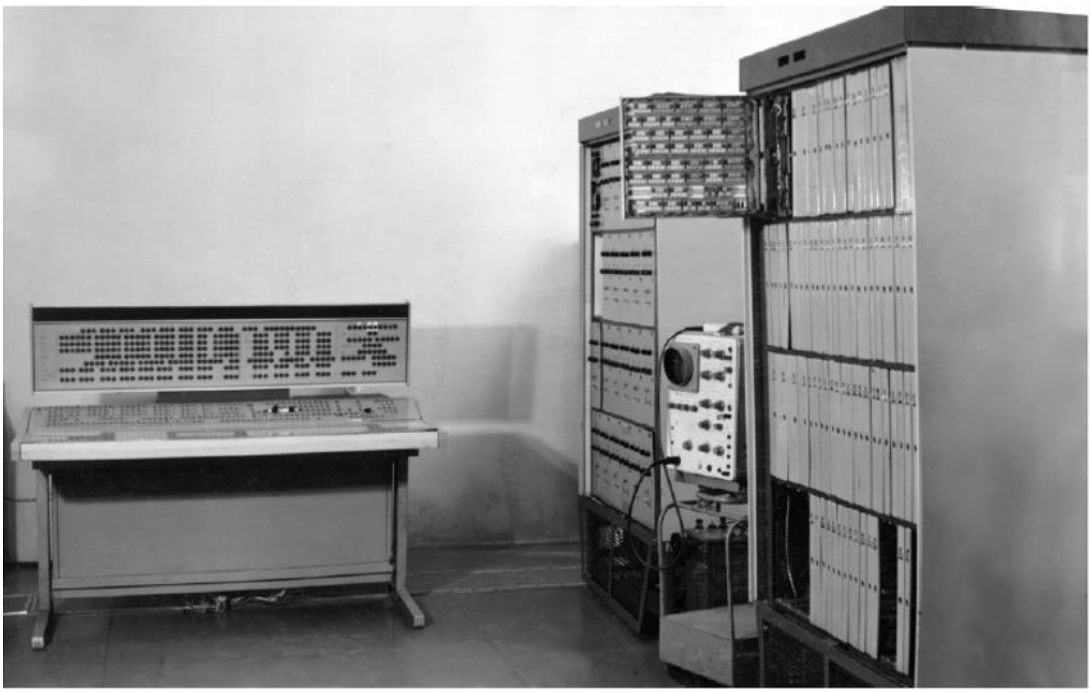

Рис. 7.10. Фрагмент экспериментального образца супер – ЭВМ «5Э53».

По ряду межведомственных причин проект ЭВМ «5Э53» не был завершён, но создал задел для многих последующих разработок. Следующие разработки использовали в основном двоичную позиционную систему.

В то время в НИИМЭ производилась разработка интегральных схем на основе эмиттерно-связанной логики (ЭСЛ) серии 100. Функционально эти ИС были прямыми аналогами зарубежной серии MECL 10000 (фирма ≪Моторола≫, США). Производство этих ИС осваивалось на ≪Микроне≫, на ≪Венте≫ в Вильнюсе, на ≪Светлане≫ в Ленинграде и на ≪Интеграле≫ в Минске.

Стало окончательно ясно, что разрабатывать целесообразно только то, что можно серийно производить в Минэлектронпроме. Далее СВЦ (Специализированный вычислительный центр) занимался созданием изделий, которые можно было производить своими силами, — 16-разрядных мини- и микро-ЭВМ, микропроцессоров и систем на их основе.

В конце 60-х годов Специализированный вычислительный центр Минэлектронпрома выполнил разработку и стал создавать центры коллективного пользования на основе БЭСМ-4, М-220, М-222, БЭСМ-6.

В Зеленограде на основе БЭСМ-6 был создан крупнейший ВЦ для проектирования электронных компонентов (рис. 7.11).

Рис. 7.11. В машинном зале ВЦ

В СВЦ на были разработаны различные системы автоматизации производства и управления:

• Система машинной разводки печатных плат.

• Первые подсистемы САПР ИС;

• Система автоматизации бухгалтерского учета в НЦ.

• Система ≪Кадры≫ автоматического учета кадров НЦ.

• Система контроля за исполнением директивных документов и указаний;

• Первая в стране АСУ ≪Район≫ (главный конструктор В. Е. Лукашов),

Силами предприятий отрасли для завода ≪Хроматрон≫ создавалась комплексная АСУ.

Глава 8. 4-е поколение вычислительной техники

8.1. Микропроцессоры и системы на кристалле

В первой половине 1970-х гг. технология микроэлектроники достигла уровня БИС — больших интегральных схем, обеспечивающих возможность построения функционального устройства в одном кристалле. Первой эту возможность реализовала фирма Intel, выпустившая в 1971 г. 4-разрядный микропроцессор для простейших 4-разрядных микроконтроллеров.

В СССР перед ленинградским объединением ≪Светлана была поставлена задача создания многоцелевых комплектов микропроцессорных БИС для разработки на их основе разнообразных ЭВМ. Этими работами руководил Юдицкий Д.И.

Его идея заключалась в модульном построении системы на основе унифицированных межмодульных соединений (конструктивных, интерфейсных, программных), позволяющем создавать различные прикладные системы простым подключением модулей друг к другу, ≪без паяльника и осциллографа≫. Тогда это было новацией.

Был создан унифицированный микропроцессорный комплект (МПК), на основе которого можно было бы создавать широкую гамму разнообразных микровычислительных средств (термин ≪микро-ЭВМ≫ родился позже).

Д. И. Юдицкий выделил молодежную лабораторию В. Л. Дшхуняна, имевшую к тому времени большой опыт схемотехнического проектирования гибридных ИС серий ≪Конус≫ и ≪Круг≫ (конструкцию и технологию которых разрабатывало КБ при завода ≪Экситон≫ в Павловском Посаде, а завод их изготавливал) и настройки функциональных ячеек мини-ЭВМ ≪Электроника НЦ-1≫. Эта лаборатория и стала тем зерном, из которого затем вырос лучший в стране коллектив разработчиков микропроцессоров, переведенный сначала из СВЦ в НИИ точной технологии, а затем выделившийся в ОАО Институт точной технологии и проектирования.

В результате напряженной работы было принято главное решение: на основе анализа и изучения архитектур зарубежных микропроцессоров и лучших современных мини - ЭВМ разрабатывать универсальный комплект микропроцессорных БИС со своей оригинальной архитектурой открытого типа, т. е. позволяющей строить на нем различные ЭВМ.

Коллектив разработчиков микропроцессоров во главе с В. Л. Дшхуняном не повторял микросхемы США, а делал свои, более интегрированные, более совершенные, заимствующие только архитектуру. В результате микропроцессоры серий 587, К1801, К1806, Л1839 были затребованы потребителями многие годы, а об их воронежских ровесниках, сериях 581, 1811, полностью повторяющих структуру и схемотехнику ИС фирмы DEC, все уже давно забыли.

Главный принцип новой архитектуры был сформирован как ≪три М≫ (или МММ) — Модульность-Микропрограммность -Магистральность.

Проектирование велось на наивысшем для того времени уровне. Фактически были заложены основы систем автоматизированного проектирования БИС (САПР БИС) на ЭВМ.

Создание и применение зачатков САПР для проектирования микропроцессоров позволили значительно сократить сроки и стоимость разработки и повысить качество проекта за счет значительного снижения вероятности ошибок.

Однако наиболее трудоемкая операция — топологическое проектирование — выполнялось тогда еще вручную. На кульманах, на отдельных листах миллиметровки (планшетах) рисовали в масштабе 1000/1 топологию фрагментов кристалла, затем планшеты ≪стыковывали≫ и взаимно подправляли. Готовые планшеты склеивали, получалась огромная ≪простынь≫ размером около 5 × 5 м для кристалла размером 5 × 5 мм.

После нескольких итераций готовая топология поступала на ≪резку≫ шаблона, которая так же выполнялась вручную на специальном станке. На станок устанавливалось стекло размером 90 × 120 см с наклеенной на него темной пленкой. Над стеклом ходил резец, управляемый вручную оператором при помощи двух ≪барашков≫.

Резец устанавливался в исходную точку контура элемента топологии, резец опускался и вращением одного из ≪барашков≫ прямолинейно перемещался до следующей точки, разрезая пленку. Затем вращением другого ≪барашка≫ до следующей точки (перпендикулярно предыдущему разрезу) и т. д. до замыкания

контура элемента топологии. После этого вырезанный участок пленки, соответствующий элементу топологии, вручную снимался с поверхности стекла.

Одних транзисторов на разных кристаллах было от 2,5 до 6,0 тысяч. Вырезанный шаблон фотографировался, таким образом получался так называемый промежуточный шаблон одного слоя топологии кристалла. Затем проекционным способом с промежуточного шаблона топология мультиплицировалась на рабочий шаблон, который в процессе производства БИС накладывался на поверхность покрытой фоторезистом кремниевой пластины для переноса на нее изображения топологии.

На рис. 8.1 и 8.2 показан первый микропроцессорный комплект серии 532/587

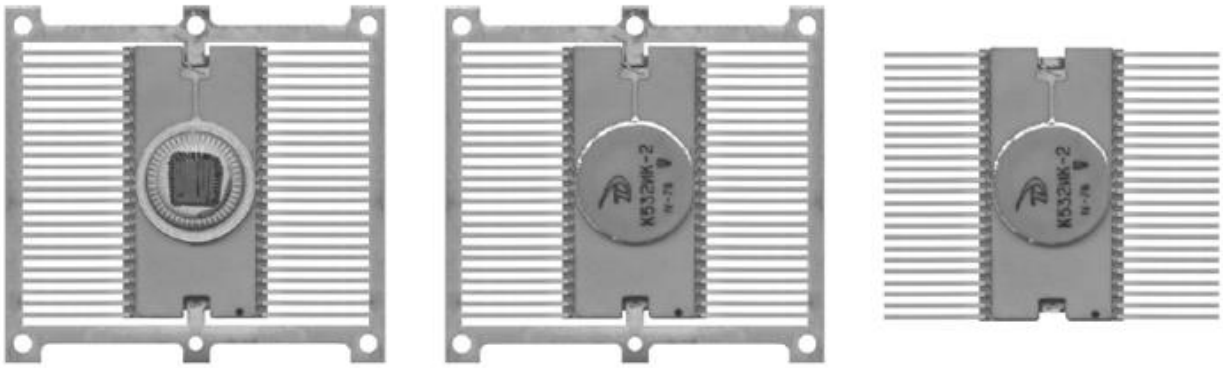

Рис. 8.1. БИС К532ИК2 в процессе сборки в 48 – выводные корпуса

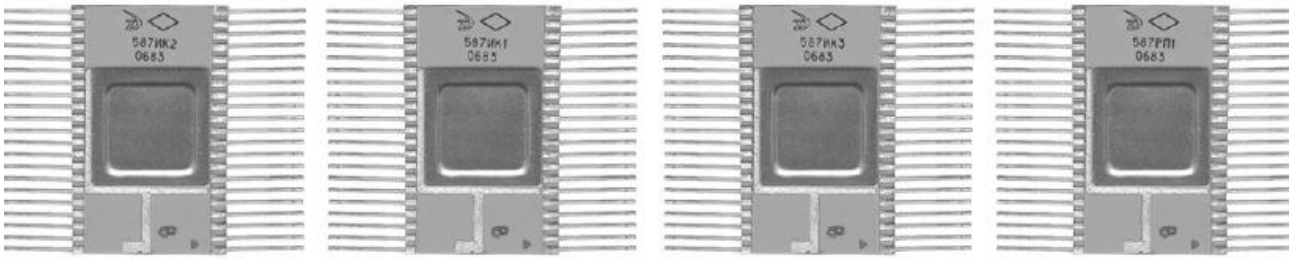

Рис. 8.2. Микропроцессорный комплект серии (К)587

На основе МПК была разработана первая в стране одноплатная КМОП микро-ЭВМ «Электроника НЦ-01».

Затем были выпущены комплекты:

Микропроцессорный комплект серии К588

Микропроцессорный комплект серии К1883

ТТЛШ/ЭСЛ секционированный микропроцессорный комплект серии 1802

8.2. Микроэлектромеханические системы (МЭМС)

8.2.1. Микромеханика

Микромеханика имеет единую технологическую основу с микроэлектроникой. Большинству механических устройств требуются электронные управление и связь с другими элементами системы. Технология позволяет одновременно и в одном кристалле изготавливать и электронное, и механическое устройства — так родились микроэлектромеханические системы (МЭМС). Это электродвигатели, гироскопы, акселерометры и т. п., которые к микроэлектронике имеют непосредственное отношение. И это уже серийная продукция.

К созданию приборов микромеханики и МЭМС ≪Ангстрем≫ приступил в 2003 г.

Работы были построены в два этапа.

Этап 1. Гибридные приборы

≪Ангстрем≫ разработал и поставляет партнеру два типа БИС управления приборами, а партнер разработал и изготавливал миниатюрные механические датчики и микрогироскопы и микроакселерометры в целом (рис. 8.3).

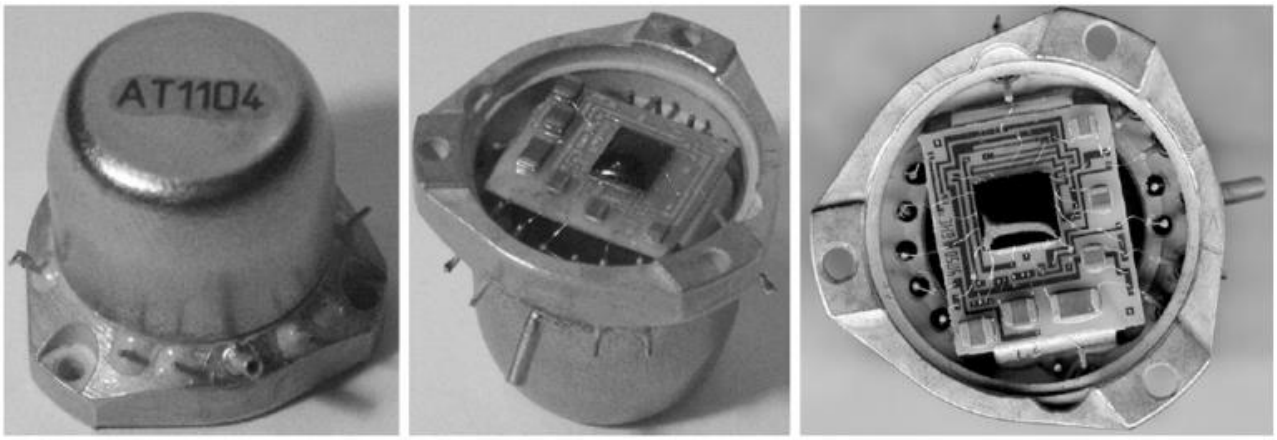

Рис. 8.3. Гибридный акселерометр AT1104

Этап 2. Интегральные МЭМС

Второй этап решает задачу создания интегральных МЭМС, в которых и микромеханические датчики (акселерометров, гироскопов, датчиков давления и т. п.), и БиКМОП микроэлектронные устройства преобразователей и управления изготавливаются в одном кристалле кремния в едином технологическом цикле (iМЭМС технология) (рис. 8.4).

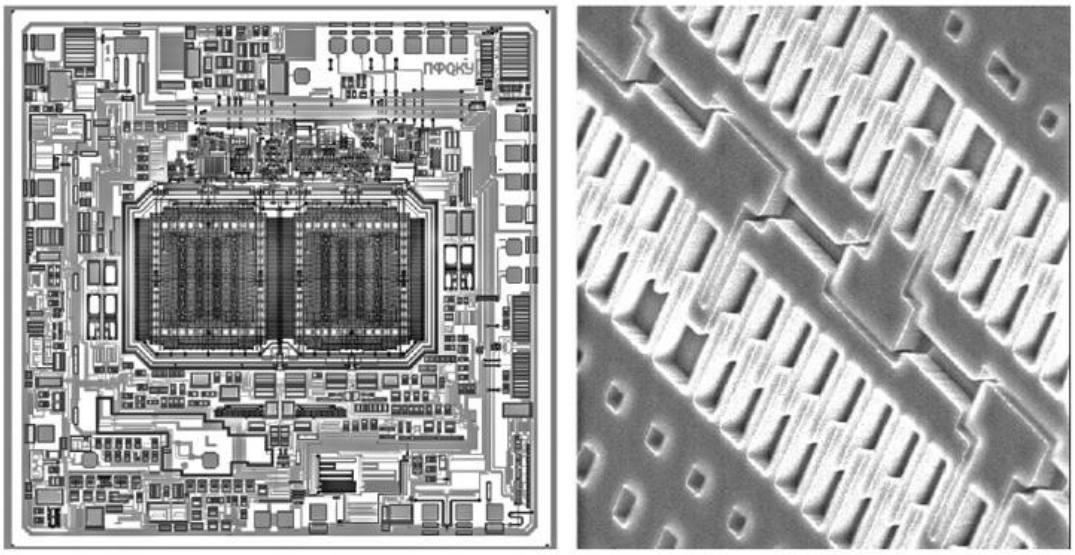

Рис. 8.4. МЭМС гироскоп и его фрагмент

8.3. Разработка и производство полупроводниковой продукции

Технология создания полупроводникового прибора включает три основных этапа:

- проектирование;
- изготовление кристалла (полупроводниковое производство);
- корпусирование кристалла (сборка).

8.4. Проектирование. Отечественные САПР

История САПР вычислительных машин и интегральных схем в нашей стране тесно связана с такими организациями, как ИТМиВТ, НИИ автоматической аппаратуры, Специализированный вычислительный центр, НИИ точной технологии, НИИ молекулярной электроники, ЦКБ ≪Алмаз≫, ведущими инженерными вузами и многими другими коллективами.

В начале 70-х гг. работы по созданию САПР получили признание: в 1972 г. Государственная премия СССР была присуждена коллективу разработчиков из ЦКБ ≪Алмаз≫ (Е. И. Бронин, Ю. Х. Вермишев, Л. П. Рябов и др.) за создание САПР РЭА (позднее эта система стала называться ПРАМ), а годом позже — специалистам из НИИМЭ во главе с Г. Г. Казенновым за разработку САПР ИС.

На заре развития САПР использовались универсальные ЭВМ, в СССР это были М-220, М-222, БЭСМ-4, БЭСМ-6, ЕС ЭВМ, ЭВМ ≪Электроника≫, СМ ЭВМ. На рис. 8.5 показан зал САПР БИС «Кулон – 1».

Рис. 8.5. Зал САПР БИС «Кулон – 1»

Были созданы комплексы ≪Кулон-2≫, ≪Кулон-3≫ и ≪Кулон-4≫. За создание единой системы ≪Кулон≫ специалисты из НИИТТ, НИИМЭ, НИИЭТ и других предприятий Минэлектронпрома были удостоены Государственной премии. На комплексах ≪Кулон≫ и на универсальных ЭВМ (ЕС ЭВМ, ≪Эльбрус≫) ставились отечественные программные системы ≪Невод≫, ≪Нептун≫, ≪Сталкер≫ и др. Это обеспечивало возможность разработки ИС любой сложности, соответствующей текущему мировому уровню. А затем в стране начались реформы и все остановилось.

8.5. Изготовление кристалла ИС

Изготовление ИС начинается с формирования на поверхности исходной однородной кремниевой пластины (с частичным углублением в нее методами диффузии) полупроводниковых структур.

Для этого на определенных участках поверхности пластины нужно в определенной последовательности выполнять операции диффузии, имплантации, окисления, травления, металлизации и т. п. Каждой из этих операций должна предшествовать процедура фото- или иной литографии, локализующая зоны проведения основной операции.

Все эти процедуры в своей технической сути определяются поставленной на предприятии технологией изготовления ИС и мало зависят от характера самой ИС, от него зависит только топология размещения полупроводниковых структур

на поверхности кристалла и схема их соединений. На рис. 8.6 показана многослойная структура разводки кристалла ИС.

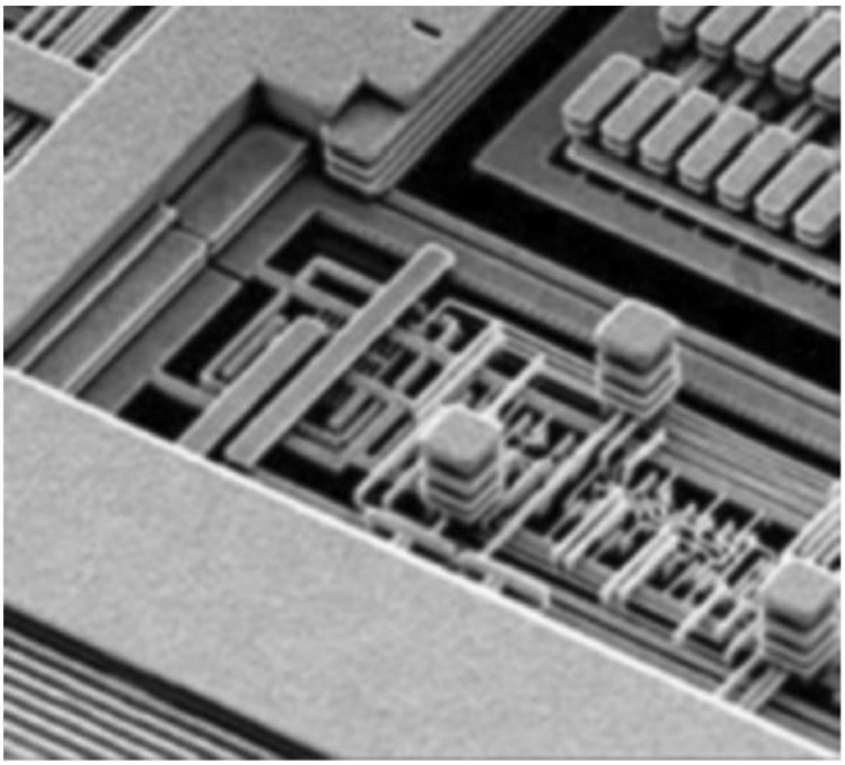

Рис. 8.6. Многослойная структура разводки кристалла ИС

На рис. 8.7 показана кремниевая пластина с готовыми кристаллами.

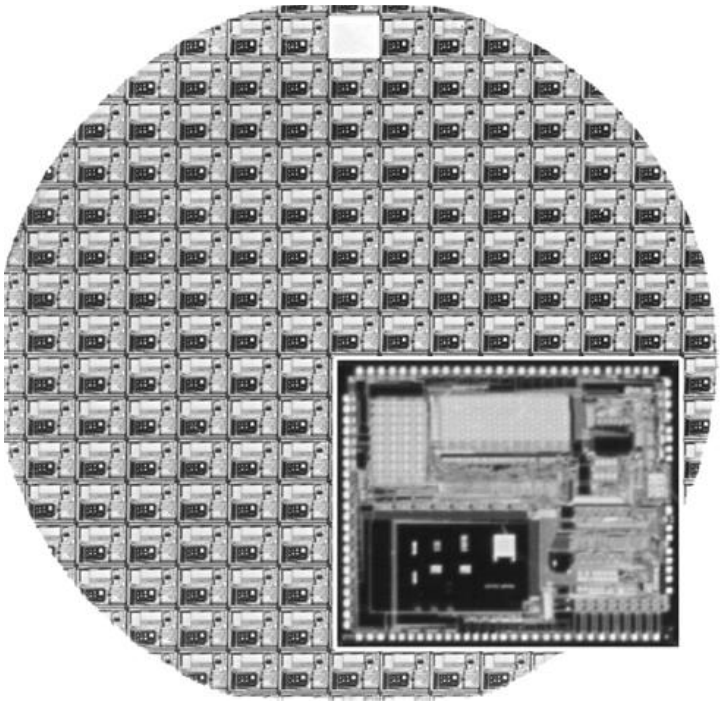

Рис. 8.7. Кремниевая пластина с готовыми кристаллами

8.6. Вычислительная техника 4-го поколения

8.6.1. Семейство микро-ЭВМ ≪Электроника НЦ-хх≫

НЦ-01 была встраиваемой управляющей одноплатной ЭВМ без своих органов управления — прототип современных микроконтроллеров, получивших ныне повсеместное применение.

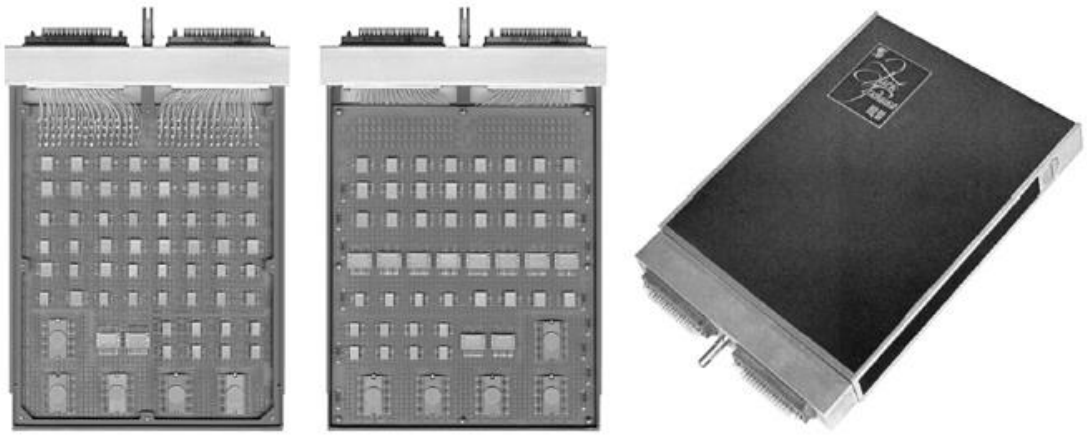

Рис. 8.8. Одноплатная микро – ЭВМ «Электроника НЦ – 01», плата и в сборе

В 1978 – 1981 годах были выпущены новые комплекты микро – ЭВМ (рис. 8.9).

Рис. 8.9. Микро – ЭВМ «Электроника НЦ – 04Т» и «Электроника НЦ – 05Т»

Большую популярность имели программируемые калькуляторы «Электроника МК – 85» (рис. 8.10) и диалоговый вычислительный комплекс ДВК – 1 (рис. 8.11), за которым у нас закрепился термин ≪персональная ЭВМ≫ (ПЭВМ).

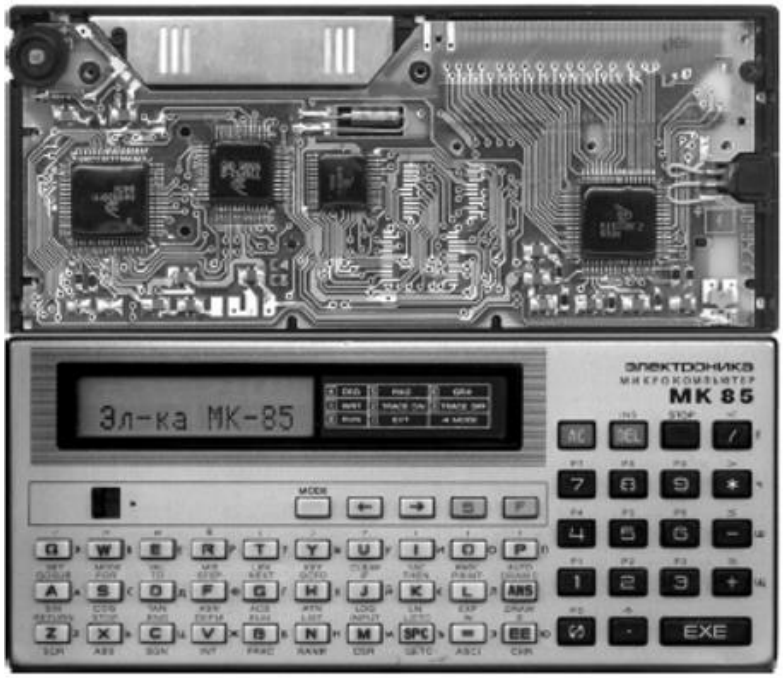

Рис. 8.10. Программируемый калькулятор «Электроника МК – 85»

Рис. 8.11. Диалоговый вычислительный комплекс ДВК – 1

ДВК были наиболее массовыми ПЭВМ в СССР. Они производились более 10 лет, было изготовлено около 230 тыс. различных ДВК.

И если в качестве ПЭВМ они со временем были вытеснены IBM совместимыми ПК, то в различных системах управления они успешно работали еще многие годы, отличаясь стойким антивирусным иммунитетом.

8.7. Основные черты компьютеров 4-го поколения

Для компьютеров *четвертого поколения* (80-е годы) характерно применение больших интегральных схем (БИС). Высокая степень интеграции способствовала увеличению плотности компоновки электронной аппаратуры, усложнению ее функций, повышению надежности и быстродействия, снижению стоимости. Это, в свою очередь, оказало существенное воздействие на логическую структуру компьютера и его программное обеспечение

В четвертом поколении с появлением микропроцессоров (1971 г.) возник новый класс вычислительных машин - микроЭВМ, на смену которым пришли персональные компьютеры (ПК, начало 80-х годов). В этом классе наряду с БИС стали использоваться сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) 32-, а затем 64-разрядности.

Появление ПК - наиболее яркое событие в области вычислительной техники, до последнего времени самый динамично развивающийся сектор отрасли. С их внедрением решение задач информатизации общества было поставлено на реальную основу.

Глава 9. Основные направления и тенденции развития вычислительной техники и систем управления

9.1. Главные направления развития вычислительной техники

В 90-х годах микроэлектроника подошла к пределу, разрешенному физическими законами. Фантастически высока плотность упаковки компонентов в интегральных схемах и почти предельно велика возможная скорость их работы.

В совершенствовании будущих ЭВМ видны два пути.

На физическом уровне это переход к использованию иных физических принципов построения узлов ЭВМ:

на основе *оптоэлектроники*, использующей оптические свойства материалов, на базе которых создаются процессор и оперативная память;

на основе *криогенной электроники*, использующей сверхпроводящие материалы при очень низких температурах.

На уровне совершенствования интеллектуальных способностей машин постоянно возникают новые результаты, опирающиеся на принципиально новые подходы к программированию. Уже сегодня ЭВМ выигрывает шахматные партии у чемпиона мира. Создание новейших информационных технологий, систем искусственного интеллекта, баз знаний, экспертных систем продолжатся в XXI веке.

Наконец, уже сегодня *огромную роль играют сети ЭВМ, позволяющие разделить решение задачи между несколькими компьютерами*. В недалёком будущем и сетевые технологии обработки информации станут, по-видимому, доминировать, существенно потеснив персональные компьютеры (точнее говоря, интегрировав их в себя).

9.2. Классы вычислительной техники

Существуют различные варианты классификации ЭВМ.

Так, *по назначению* компьютеры делятся:

на *универсальные* – те, которые способны решать самые различные математические, экономические, инженерно-технические, научные и другие задачи;

проблемно-ориентированные – решающие задачи более узкого направления, связанные, как правило, с управлением определёнными процессами (регистрация данных, накопление и обработка небольших объёмов информации, выполнение расчётов в соответствии с несложными алгоритмами). Они обладают более ограниченными программными и аппаратными ресурсами, чем первая группа компьютеров;

специализированные компьютеры решают, как правило, строго определённые задачи. Они имеют узкоспециализированную структуру и при относительно низкой сложности устройства и управления достаточно надёжны и производительны в своей сфере. Это, к примеру, контроллеры или адаптеры, управляющие рядом устройств, а также программируемые микропроцессоры.

По размерам и производительной мощности современная электронно-вычислительная техника делится:

на сверхбольшие (суперкомпьютеры);

большие компьютеры;

малые компьютеры;

сверхмалые (микрокомпьютеры).

Таким образом, мы увидели, что устройства, сначала изобретённые человеком для учёта ресурсов и ценностей, а затем – быстрого и точного проведения сложных расчётов и вычислительных операций, постоянно развивались и совершенствовались.

9.3. Пятое поколение

Начиная с середины 90 - х годов, в мощных компьютерах начинают применяться БИС супермасштаба, которые вмещают сотни тысяч элементов на квадратный сантиметр. Многие специалисты стали говорить о компьютерах пятого поколения.

Характерной чертой компьютеров пятого поколения должно быть *использование искусственного интелекта* и *естественных языков общения*. Предполагается, что вычислительные машины пятого поколения будут легко управляемы. Пользователь сможет голосом подавать машине команде.

В настоящее время информатика и её практические результаты становятся важнейшим двигателем научно-технического прогресса и развития человеческого общества. Ее технической базой являются средства обработки и передачи информации. Скорость их развития поразительна, в истории человечества этому бурно развивающемуся процессу нет аналога. Теперь уже очевидно, что XXI век будет веком максимального использования достижений информатики в экономике, политике, науке, образовании, медицине, быту, военном деле и т. д. Последние десятилетия XX века характерны возрастанием интереса к истории развития информатики, в первую очередь к истории появления первых цифровых вычислительных машин и их создателям. В большинстве развитых стран созданы музеи, сохраняющие образцы первых

машин, проводятся конференции и симпозиумы, выпускаются книги о приоритетных достижениях в этой области.

Появление персональных компьютеров (ПК) было подготовлено всей предшествующей историей развития ЭВМ. Первой ласточкой стал компьютер KENBAK-1, сконструированный Джоном Бланкейнбейкером в 1971 г. Внешне он напоминал скорее автомобильный радиоприемник с индикаторными лампочками и переключателями, чем привычный нашему глазу персональный компьютер.

С 1971 г. по 1974 г. различными фирмами создавались разные модели ПК. Однако ввиду ограниченных возможностей этих компьютеров интерес к ним был невелик. По – настоящему пользователи и производители заинтересовались персональнми компьютерами в 1974 г., когда американская фирма MITS на основе микропроцессора Intel 8080 разработала компьютер Altair. Этот персональный компьютер был значительно удобнее своих предшественников и обладал более широкими возможностями.

Значительно более совершенная модель персонального компьютера была разработана в 1976 г. двумя молодыми американцами Стивом Возняком и Стивом Джобсом. Свой компьютер они назвали Apple и быстро развернули его производство и продажу. Благодаря невысокой цене (примерно 500 долларов) в первый же год ими было продано около 100 компьютеров. В следующем году они выпустили модель Apple II, которая имела материнскую плату, дисплей, клавиатуру и внешне напоминала собой телевизор. Количество заказчиков на ПК стало исчисляться сотнями и тысячами.

В 1982 г. фирма IBM выпустила очень удачную модель – 16 – разрядный компьютер. Он был построен на основе микропроцессора Intel 8088, работал с тактовой частотой 4.77 МГц и использовал операционную систему MS – DOS. Называлась эта модель компьютера как IBM PC или просто PC.

Далее развитие ПК происходило очень высокими темпами: фирма IBM каждый год создавала по новой модели. В 1983 г. появилась модель PC XT, а в 1984 – более совершенный и производительный компьютер PC AT. Они быстро завоевавали рынок ПК и стали своего рода стандартами, которые старались подражать фирмы – конкуренты.

Кроме IBM – совместимых ПК, существует еще одно семейство персональных ЭВМ, называемых Macintosh. Эти компьютеры ведут свою родословную от уже упоминавшейся модели Apple, их производством занималась фирма Aplle Computer. Архитектура компьютеров Macintosh, в

отличие от IBMPC, не была открытой. Поэтому, несмотря на свои более продвинутые по сравнению с IBM PC графические возможности, «Маки» не смогли завоевать такой обширный рынок. Численность «Маков» в десятки раз меньше численности IBM PC – совместимых компьютеров.

9.4. Тенденции развития вычислительной техники

Главной тенденцией развития вычислительной техники в настоящее время является:

дальнейшее расширение сфер применения ЭВМ;

переход от отдельных машин к их системам - вычислительным системам и комплексам разнообразных конфигураций с широким диапазоном функциональных возможностей и характеристик.

Наиболее перспективные, создаваемые на основе персональных ЭВМ, территориально распределенные многомашинные вычислительные системы - вычислительные сети - ориентируются не столько на вычислительную обработку информации, сколько на коммуникационные информационные услуги: электронную почту, системы телеконференций и информационно-справочные системы.

Специалисты считают, что в начале XXI в. в цивилизованных странах произойдет смена основной информационной среды.

При разработке и создании собственно ЭВМ существенный и устойчивый приоритет в последние годы имеют сверхмощные компьютеры - суперЭВМ и миниатюрные, и сверхминиатюрные ПК.

Ведутся, как уже указывалось, поисковые работы по созданию ЭВМ 6-го поколения, базирующихся на распределенной нейронной архитектуре, - нейрокомпьютеров. В частности, в нейрокомпьютерах могут использоваться уже имеющиеся специализированные сетевые МП - транспьютеры - микропроцессоры сети со встроенными средствами связи.

Широкое внедрение средств мультимедиа, в первую очередь аудио- и видеосредств ввода и вывода информации, позволит общаться с компьютером на естественном языке. Мультимедиа нельзя трактовать узко, только как мультимедиа на ПК. Можно говорить о бытовом (домашнем) мультимедиа, включающем в себя и ПК, и целую группу потребительских устройств, доводящих потоки информации до потребителя и активно забирающих информацию у него.

Специалисты предсказывают в ближайшие годы возможность создания компьютерной модели реального мира, такой виртуальной (кажущейся,

воображаемой) системы, в которой мы можем активно жить и манипулировать виртуальными предметами.

Учёные пытаются найти способы создания виртуальной реальности, в которой люди могли бы вести себя так же естественно, как и в реальной жизни. Учёные исследуют возможность проецирования изображений непосредственно на сетчатку глаза. В этом случае люди могли бы наблюдать среду виртуальной реальности таким же способом, что и в жизни.

9.5. Каким видится будущее компьютерной техники?

Как известно, в настоящее время разработка компьютерной техники базируется на использовании микропроцессоров. Причем эти микропроцессоры постоянно уменьшаются в размерах. Предположительно, лет через 10, размеры одного транзистора, если дело и дальше будет идти такими же темпами, должны составить всего несколько атомов. Как видим, возможности для роста производительности компьютерной техники в том виде, в какой она существует сейчас, значительно ограничены. И уже в обозримом будущем в этой сфере может наступить стагнация.

9.5.1. Молекулярный компьютер

Многие специалисты полагают, что следующий скачок в разработке компьютеров может привести к тому, что мощность их повысится в сотни и даже в тысячи раз. Наиболее реальные перспективы в этой связи видятся в такой области, как использование *молекулярных технологий*.

В молекулярных компьютерах вместо кремниевых чипов рабтают молекулы (рис. 9.1). Такие бистабильные переключаемые молекулы – это наноразмерная битовая система, воспроизводящая на молекулярном уровне функции классического транзистора.

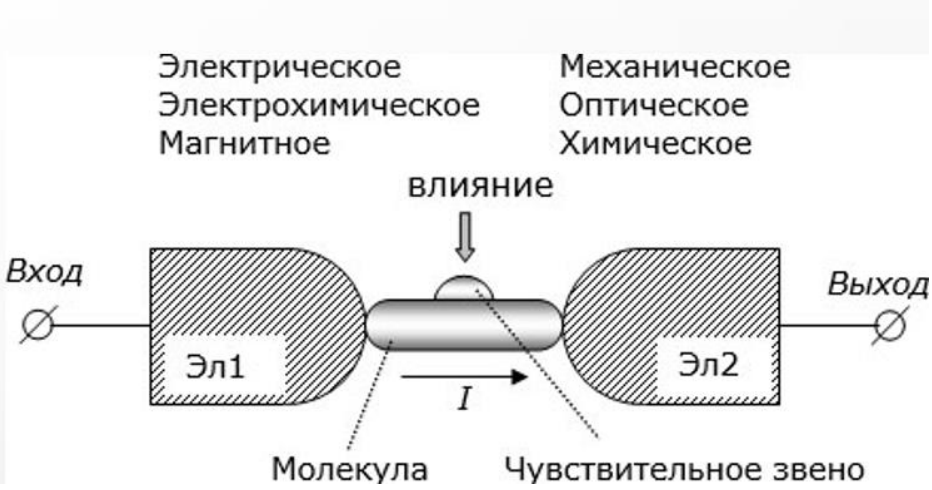

Рис. 9.1. Принцип работы молекулярного компьютера

Первые компоненты для устройств, которые могут быть *названы молекулярными компьютерами, уже изготовлены специалистами компании Hewlett-Packard*. Им удалось обеспечить такие условия, при которых молекулы вещества могут переходить из одного состояния в другое. А это и есть основная предпосылка для создания элемента памяти, который будет работать на молекулярном уровне. Следующий этап в разработке новых устройств – это создание логических ключей для выполнения основных функций. К этим функциям, применительно к компьютерам, относятся, как известно, функции «и», «не» и «или». Концепция такого устройства, какой она видится в настоящее время, может выглядеть так: в одном направлении прокладывается слой проводников, затем слой вещества, которое было получено учеными, и снова слой проводников, но уже выложенный в обратном направлении. Компьютер, созданный таким образом, может стать в миллиарды раз более экономичным, чем современные микропроцессорные устройства. И размеры его при этом будут значительно меньше. Устройство, размеры которого будут сопоставимы с размерами песчинки, будет содержать миллиарды молекул. К тому же, развитие подобных устройств может пойти в направлении трехмерного расположения элементов. Предполагается, что первые молекулярные компьютеры могут появиться уже в текущем десятилетии.

В 1974 г. IBM получило вещество, молекула которого обладает свойствами диода. Из нее можно сделать аналог транзистора, а из двух - аналог триггера.

Переключения из одного состояния в другой осуществляется с помощью света или слабого электрического поля. При этом тактовая частота процессора возрастет до 1 ТГц. Возможно построение белковой памяти, создание ЭВМ на ДНК. Молекулярный компьютер - это устройство, в котором вместо кремниевых чипов, применяемых в современных компьютерах, работают молекулы и молекулярные ансамбли. В основе новой технологической эры лежат так называемые «интеллектуальные молекулы». Такие молекулы (или молекулярные ансамбли) могут существовать в двух термодинамически устойчивых состояниях, каждое из которых имеет свои физические и химические свойства. Переводить молекулу из одного состояния в другое (переключать) можно с помощью света, тепла, химических агентов, электрического и магнитного поля и т.д. Фактически такие переключаемые бистабильные молекулы — это наноразмерная двухбитовая система, воспроизводящая на молекулярном уровне функцию классического транзистора.

Вот в общих чертах то, что ждёт нас в ближайшем будущем. Учёные считают, что молекулярные компьютеры будут созданы к 2020–2030 году. Это не значит, что существующее поколение кремниевых компьютеров полностью и сразу отомрёт, просто рядом с ним появится более мощная генерация. А что потом? Спинтроника и компьютеры на квантовых точках, ДНК-компьютеры.

9.5.2. ДНК - компьютеры

Другое направление развития компьютерной техники тесно связано с *биологией*. Специалисты рассматривают каждую живую клетку как миниатюрную биологическую машину. Естественные процессы, проходящие в живых клетках, вполне можно использовать для моделирования сложных логических процессов, имитирующих искусственный интеллект.

ДНК - компьютер выполняет вычисления с использованием биологических молекул, а не традиционных кремниевых чипов. Идея о том, что отдельные молекулы (или даже атомы) могут быть использованы для расчетов, датируется 1959 годом, когда американский физик Ричард Фейнман представил свои идеи по нанотехнологиям. Однако ДНК - вычисления физически не были реализованы до 1994 года, когда американский ученый Леонард Адлеман показал, как молекулы могут быть использованы для решения вычислительных задач.

Вычисление может рассматриваться как выполнение алгоритма, который сам по себе может быть определен как пошаговый список четко определенных инструкций, который принимает некоторый ввод, обрабатывает его и выдает результат. При вычислении ДНК информация представляется с использованием четырехсимвольного генетического алфавита (A [аденин], G [гуанин], C [цитозин] и T [тимин]), а не двоичного алфавита (1 и 0), используемого традиционными компьютеры. Это достижимо, потому что короткие молекулы ДНК любой произвольной последовательности могут быть синтезированы по порядку. Поэтому входные данные алгоритма представлены (в простейшем случае) молекулами ДНК с определенными последовательностями, инструкции выполняются лабораторными операциями с молекулами (такими как сортировка их по длине или измельчение нитей, содержащих определенную подпоследовательность), и результат определяется как некоторое свойство конечного набора молекул (например, наличие или отсутствие определенной последовательности).

Эксперимент Адлемана включал в себя поиск маршрута через сеть «городов» (обозначенных «1» - «7»), соединенных односторонними «дорогами». Проблема указывает на то, что маршрут должен начинаться и заканчиваться в

определенных городах и посещать только каждый город один раз. Адлеман спроектировал короткие нити ДНК, чтобы представить города и дороги таким образом, чтобы нити дороги соединяли городские нити вместе, образуя последовательности городов, представляющих маршруты (например, фактическое решение, которое оказалось «1234567»). Большинство таких последовательностей представляли неправильные ответы на проблему («12324» посещает город более одного раза, а «1234» не посещает каждый город), но Адлеман использовал достаточно ДНК, чтобы быть уверенным, что правильный ответ будет представлен в его первоначальном горшок с пряностями. Проблема заключалась в том, чтобы извлечь это уникальное решение. Он достиг этого, сначала значительно усилив (используя метод, известный как полимеразная цепная реакция [ПЦР]) только те последовательности, которые начинались и заканчивались в нужных городах. Затем он отсортировал набор нитей по длине (используя технику, называемую гель - электрофорезом), чтобы убедиться, что он сохранил только пряди правильной длины. Наконец, он неоднократно использовал молекулярную «удочку» (аффинная очистка), чтобы гарантировать, что каждый город в свою очередь был представлен в последовательностях кандидатов. Нити, с которыми остался Адлеман, были затем упорядочены, чтобы выявить решение проблемы.

На рис. 9.2 показано как зондные молекулы используются для определения местоположения цепей ДНК, кодирующих пути, которые проходят через промежуточные города (Бостон и Чикаго). Молекулы зонда, содержащие комплементарная ДНК имени Бостона (AGCCTGAC) прикреплены к железному шарику, взвешенному в жидкости. Из-за близости Уотсона-Крика зонды захватывают нити ДНК, которые содержат имя Бостона (TCGGACTG). Тогда пряди, пропущенные по имени Бостона, отбрасываются. Процесс повторяется с молекулами зонда, кодирующими комплементарный ДНК имени Чикаго. Когда все вычислительные шаги завершены, нити слева будут те, которые кодируют решение GCAGTCGGACTGGGCTATGTCCGA.

Своеобразная модель биологического компьютера уже существует. Её предложил ученый Вейцманоского института естественных наук. Модель выполнена из пластмассы, и имеет в высоту 30 см. Она состоит из элементов, каждый из которых является имитацией биологической молекулы. Собранное из настоящих молекул, оно бы имело размер, сопоставимый с размером клетки. Такие устройства можно было бы использовать с целями биомониторинга. Современные достижения биологической науки уже, в принципе, позволяют

создавать подобные устройства. Тем более, что ДНК-компьютеры уже успешно применяются с практическими целями. В частности, с их помощью расшифровывается геном различных организмов. Интересные опыты в сфере биологического моделирования компьютерных процессов были проведены в одном из институтов Джорджии. Сущность их заключалась в том, что к нейронам пиявки были подсоединены микроскопические датчики. В зависимости от того, каким был входной сигнал, обнаружилось, что нейроны способны образовывать новые связи. Возможно, элементы, подобные нейронам, можно было бы использовать и в составе компьютеров, вместо применяемых в настоящее время кремниевых элементов. Такие устройства могли бы решать задачи, используя возможности для самопрограммирования. Предполагается, что одной из сфер их применения может стать создание мозга для автоматических и роботизированных устройств.

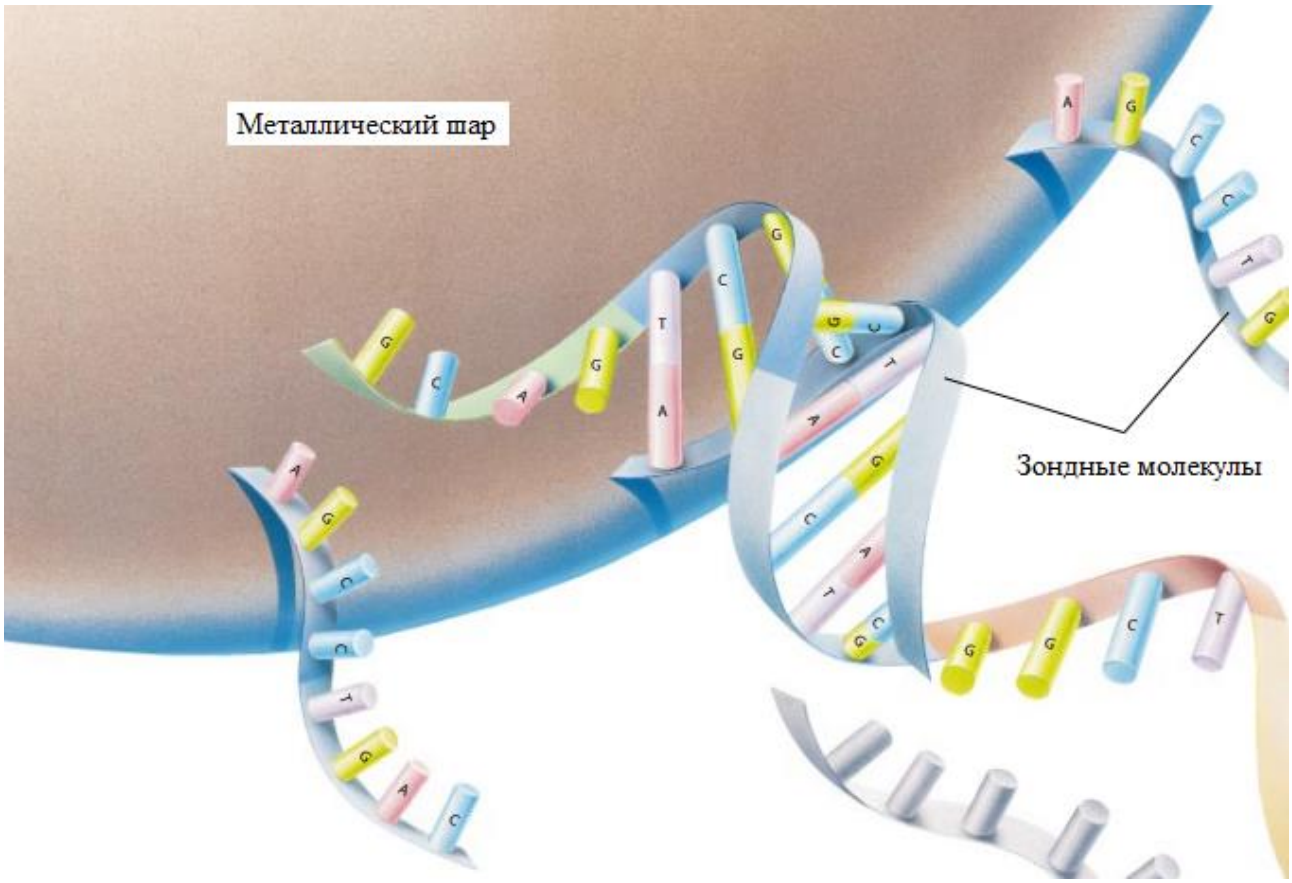

Рис. 9.2. Зондные молекулы в ДНК - компьютере

Итак, ДНК-компьютер — вычислительная система, использующая вычислительные возможности молекул ДНК. В 1994 году Леонард Адлеман, профессор университета Южной Калифорнии, продемонстрировал, что с помощью пробирки с ДНК можно весьма эффектно решать классическую комбинаторную «задачу о коммивояжере» (кратчайший маршрут обхода вершин

графа). Классические компьютерные архитектуры требуют множества вычислений с опробованием каждого варианта. Метод ДНК позволяет сразу сгенерировать все возможные варианты решений с помощью известных биохимических реакций. Затем возможно быстро отфильтровать именно ту молекулу-нить, в которой закодирован нужный ответ.

Проблемы, возникающие при этом:

- требуется чрезвычайно трудоёмкая серия реакций, проводимых под тщательным наблюдением

- существует проблема масштабирования задачи.

Конечный биоавтомат Шапиро — технология многоцелевого ДНК - компьютера, разрабатываемая израильским профессором Эхудом Шапиро (en:Ehud Shapiro) из Вейцмановского института. Его основой являются уже известные свойства биомолекул, таких как ДНК и ферменты. Функционирование ДНК-компьютера сходно с функционированием теоретического устройства, известного в математике как «конечный автомат» или машина Тьюринга.

9.5.3. Оптический компьютер

Ещё один вариант компьютеров будущего основан на использовании *оптических технологий* [15]. Возможно, он не покажется столь же необычным, как первые два. Но может оказаться значительно более реализуемым и не менее эффективным. В настоящее время, как известно, оптическое волокно ложится в основу устройств широкополосной связи. Однако сложность в работе подобных устройств состоит в том, что для передачи информации сигнал постоянно проходит *перекодировку из электрической формы в световую и обратно. Решить эту проблему можно, заменив оптическими компонентами все электронные элементы.* Первыми среди подобных устройств станут оптические усилители и повторители. Используемые в составе линий дальней связи, они дадут возможность посылать только световой сигнал. Считается, что *оптические технологии могут лечь и в основу всех компьютеров.* Так как оптоволокно существенно тоньше, чем проводники электричества, такие компьютеры будут отличаться значительно меньшими размерами. Правда, появления подобных устройств не стоит ждать раньше, чем через несколько десятилетий, но возможности их уже сегодня выглядят весьма впечатляющими. Считается, что эра таких компьютеров начинается в настоящее время, когда все элементы систем связи будут постепенно становиться оптическими. Возможно, уже в течение ближайшего десятилетия все электрические коммутаторы, усилители и повторители будут заменены оптическими. Результаты применения подобных

технологий смогут ощутить и рядовые потребители – те, кто сегодня выбирает самые мощные компьютеры или планирует подключить красивый номер МТС.

Оптический компьютер - это сложная информационная система, в которой носители сигналов не электроны, а фотоны (световой поток). Фотоны - это кванты, т.е. частицы электромагнитного излучения, каковым является и видимый нами свет. Оптический компьютер имеет невиданную производительность и совершенно иную, чем электронный компьютер, архитектуру. Самые скромные оценки показывают, что за 1 такт длительностью менее 1 наносекунды (это соответствует тактовой частоте более 1000 МГц) в оптическом компьютере возможна обработка массива данных порядка 1 мегабайта и более. Самый впечатляющий элемент оптического компьютера – это голографический экран. В отличие от современных электронно-лучевого или жидкокристаллического экранов, голографический экран может иметь произвольный размер - например, во всю стену. Он может быть плоским или объемным. Несмотря на то, что многие принципиальные вопросы на пути создания оптических компьютеров уже решены, построение мощного законченного работоспособного оптического компьютера все еще остается трудной технической проблемой, неразрешимой при нынешнем уровне науки и техники. Специалисты ожидают, что полноценный оптоэлектронный процессор появится к 2010 году.

Оптический компьютер размером с ноутбук даст обычному пользователю возможность разместить в нем едва ли не всю информацию о мире, при этом компьютер сможет решать задачи любой сложности, в том числе такие, с которыми сегодня едва справляются мощные серверы. Специалисты с помощью оптического компьютера смогут обрабатывать данные геологоразведки прямо на месте исследования. Менеджер крупной компании или банка сможет работать с корпоративной базой, не выходя в открытую сеть, сколь велики бы ни были размеры базы данных, эта информация уместится в памяти оптического компьютера.

Чтобы достичь терабитных скоростей потребуются оптические коммутаторы (уже есть опытные образцы). Это объясняет, почему в телекоммуникациях побеждает оптоволокно: оно даёт тысячекратное увеличение пропускной способности, причём мультиплексирование позволяет повысить её ещё больше. Инженеры пропускают по оптоволокну все больше и больше коротковолновых световых лучей. В последнее время для управления ими применяются чипы типа TI DMD с сотнями тысяч микрозеркал. Если первые

трансатлантические медные кабели позволяли передавать всего 2500 Кбит/с, то первое поколение оптоволоконных кабелей - уже 280 Мбит/с. Кабель, проложенный сейчас, имеет теоретический предел пропускной способности в 10 Гбит/с на один световой луч определённой длины волны в одном оптическом волокне.

Недавно компания Quest Communications проложила оптический кабель с 96 волокнами (48 из них она зарезервировала для собственных нужд), причём по каждому волокну может пропускаться до восьми световых лучей с разной длиной волны. Возможно, что при дальнейшем развитии технологии мультиплексирования число лучей увеличится ещё больше, что позволит расширять полосу пропускания без замены кабеля.

Целиком оптические компьютеры появятся через десятилетия, но работа в этом направлении идёт сразу на нескольких фронтах. Например, учёные из университета Торонто создали молекулы жидких кристаллов, управляющие светом в фотонном кристалле на базе кремния. Они считают возможным создание оптических ключей и проводников, способных выполнять все функции электронных компьютеров.

Из интересного нового железа в этой области — HPU (Holographic Processing Unit), который используется в HoloLens от Microsoft, TPU (Tensor Processing Unit) — аппаратный ускоритель TensorFlow от Google, чипы от Nvidia для самоуправляемых автомобилей.

С этим оптическим трендом можно работать на разных уровнях. На высоком уровне — использовать возможности новых устройств, содержащих специфические ASIC. Каждый ASIC потенциально ждет своего killer-продукта.

Тем, кто достаточно смел, чтобы работать с железом, имеет смысл достать набор разработчика FPGA и начать изучение Verilog.

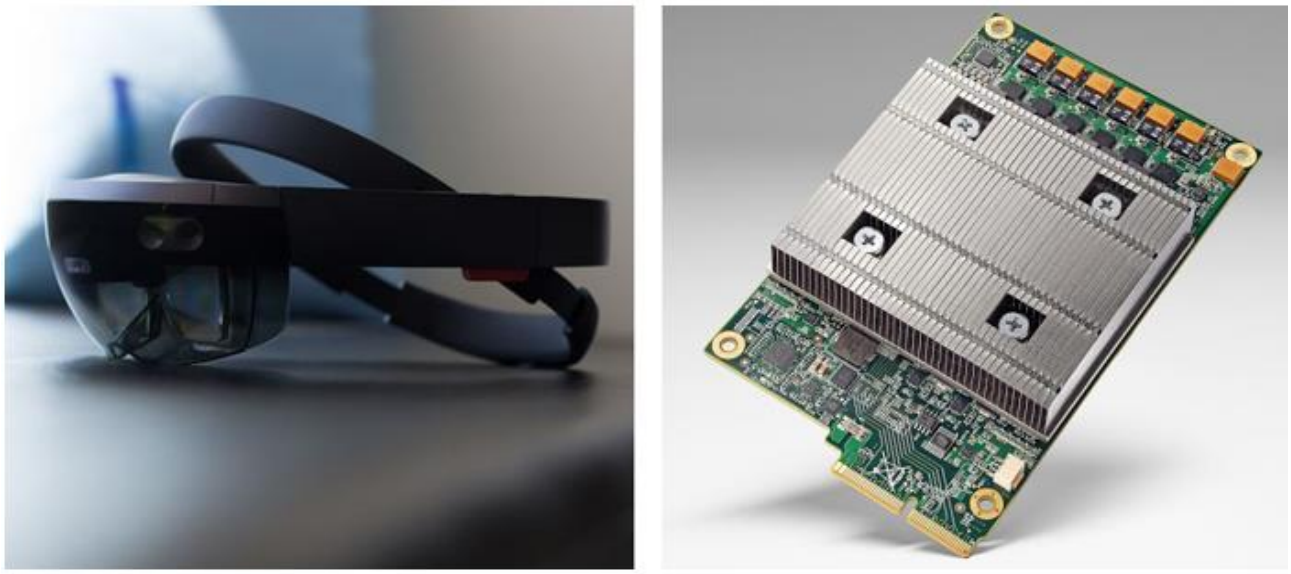

Рис. 9.3. Плата Tensor для процессоров Microsoft HoloLens

9.5.4. Квантовая компьютерная революция

Пожалуй, наиболее удивительными могут стать так называемые квантовые компьютеры. Компоненты таких устройств будут иметь даже не атомные, а субатомные размеры. И в основу их будут положены принципы квантовой механики. Как известно, в квантовом мире один и тот же объект может одновременно занимать два положения. Здесь и кроется огромный потенциал квантовых технологий. Квантовый бит будет способен принимать одновременно несколько значений. То есть он в один и тот же момент времени будет и включенным, и выключенным. Использование 32 подобных бит даст возможность получить более 4 миллиардов комбинаций. Препятствием на пути развития подобных устройств является отсутствие в настоящее время технологий, с помощью которых можно было бы связывать несколько таких элементов друг с другом. Пока учёные умеют связывать всего 3 электрона. Тем не менее, сами квантовые элементы уже существуют. Считается, что построенный на их основе компьютер в своей работе будет исключать возможность совершения ошибок.

Когда же ожидать появления хотя бы одной из описанных технологий? По прикидкам учёных, очередной качественный скачок в этой области должен совершиться примерно в 2020 году. После него использование кремниевых полупроводников будет полностью заменено применением одной из новых технологий. А какой именно – покажет время.

В следующие годы нам в буквальном смысле предстоит совершить квантовый скачок. Компьютеры будут производить вычисления, которые в настоящее время невозможны.

Нейронные сети и квантовые компьютеры — две технические разработки, которые поспособствуют развитию компьютеров в следующем десятилетии.

Единицы, нули — с самого начала своего существования, вот уже почти семьдесят лет, компьютеры производят вычисления в двоичном коде, образуя последовательность битов информации с помощью простых операторов: AND, OR, NOT. Эти простые элементы образуют сложные команды, составляя основу любого языка программирования: если условие выполняется, то нужно сделать это (IF, THEN), если нет — то другое (IF, ELSE). Машины выполняют программный код строго слово в слово.

А теперь представьте себе компьютер, который не только понимает нули и единицы, но и знает все вероятности того, что значение будет равно нулю или единице. Он считает не как малыш, который складывает по пальцам: 1+1=2 или 2+2=4, а как юноша, который понимает саму операцию сложения: x+y=z. Он не выполняет заданный строгий код, а сам подстраивается под поставленные задачи и по мере их выполнения выдает результаты все быстрее и точнее. При этом он самостоятельно находит такие решения, которые программистам и в голову не приходили, и адаптирует код под них.

9.5.5. Один бит за все цифры

В основе работ над квантовым компьютером лежит идея, известная в массовой культуре как «кот Шредингера». Этот мысленный эксперимент объясняет одно из понятий квантовой физики — суперпозицию. Если классическая физика однозначно определяет состояние элементарной частицы через её положение и скорость, то открытия квантовой физики позволяют описывать состояние частицы только через функцию вероятности.

Кубит — квантовый бит.

Из смешения всех возможных состояний только в момент наблюдения — измерения — частица выбирает одно конкретное: электрон, например — состояние спина («спин вверх» или «спин вниз»). Квантовые компьютеры при вычислениях используют как раз явление суперпозиции.

Суперпозиция: классический компьютер производит вычисления с битами (значение 0 или 1). Квантовый компьютер производит вычисления с помощью кубитов, которые представляют определённую вероятность получения двух состояний: 0 и 1.

Запутанность: несколько кубитов можно объединить в одно общее состояние. Три кубита представляют разные вероятности получить восемь комбинаций из трех битов. Это значит, что N кубитов могут одновременно

обрабатывать 2 в степени N значения. Для системы из 50 кубитов это число составляет более квадриллиона значений.

Наименьшим элементом для хранения информации в квантовом компьютере является квантовый бит — кубит. Если бит принимает строго одно из двух значений — 0 или 1, то кубит представляет все вероятности получить значение 0 или 1. Огромная разница в вычислительных ресурсах между квантовым компьютером и классическим обусловлена использованием еще одного квантомеханического явления — квантовой запутанности: если два кубита оказываются взаимосвязаны, сливается их функция вероятности, которая описывает, в какие состояния они могут перейти.

То есть два кубита при считывании могут получить четыре значения (00, 01, 10, 11). Чем больше совокупность запутанных между собой кубитов, тем сильнее этот эффект; он выражается формулой 2 в степени N, где N — количество запутанных кубитов. То есть 10 кубитов содержат 1024 вероятных значения, а 50 кубитов представляют более квадриллиона различных состояний.

Чтобы построить полноценный квантовый компьютер, предстоит преодолеть некоторые серьёзные препятствия. Явления квантовой суперпозиции и квантовой запутанности могут занимать какие-то микросекунды. Компьютер может производить вычисления в течение этого промежутка времени, причём при условии, что кубиты изолированы от внешнего воздействия.

В роли кубитов учёные пробовали разные частицы, в том числе ионы, фотоны, электроны. Квантовые компьютеры IBM и Google построены на цепи из сверхпроводников, находящейся при температуре, близкой к абсолютному нулю, — так можно реализовать электрический ток, который потенциально проходит одновременно в обоих направлениях, то есть находится в суперпозиции состояний. Кубиты этих компьютеров управляются, объединяются и считываются с помощью микроволнового излучения.

Семь кубитов на этой микросхеме IBM состоят из цепи сверхпроводников, в которой ток проходит в обоих направлениях. Кубиты объединяются с помощью подведённого волновода (рис. 9.4).

Писать код для квантового компьютера — дело далеко не обычное. Этапы вычислений разбиваются на квантовые вентили, моделирующие классические операторы AND, OR и NOT. Для этого кубиты получают входное состояние и затем в несколько этапов объединяются друг с другом.

До сих пор существует всего несколько алгоритмов, оптимизированных под квантовые компьютеры. Например, на алгоритм Шора для разложения

натурального числа на простые множители классическому компьютеру требуется чрезвычайно много времени, даже если он задействует тысячи процессоров. Квантовый же 100-кубитный компьютер, по оценкам руководителя лаборатории Google Джона Мартиниса, с такими вычислениями справится очень быстро. Группа ученых под руководством профессора физики уже построила для Google 49-кубитный квантовый компьютер.

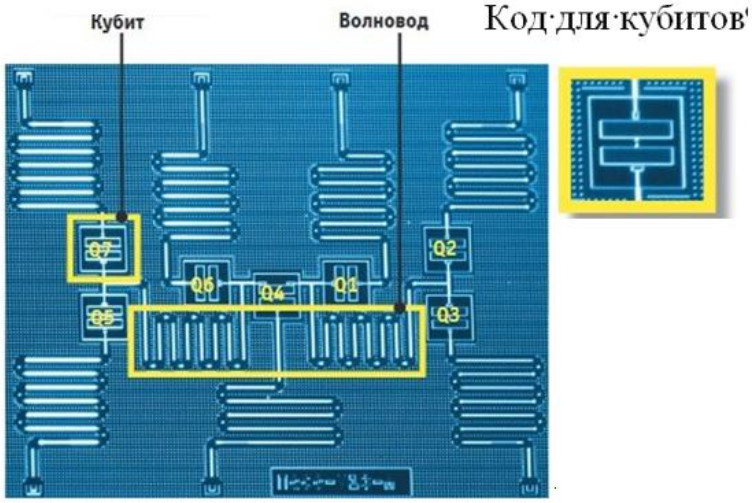

Рис. 9.4. Кубиты на микросхеме IBM

Квантовый компьютер должен содержать некоторое количество дополнительных кубитов для исправления ошибок. Дело в том, что базовые единицы квантовой информации чрезвычайно восприимчивы к внешним воздействиям, что приводит к искажению результата — отсюда и возникает необходимость в тщательной проверке. Поэтому открытым остается вопрос масштабируемости квантового компьютера: не исключено, что система коррекции ошибок потребует столько вычислительных ресурсов, что разработка больших квантовых компьютеров не будет иметь смысла — такой вот пессимистичный прогноз.

Но если масштабирование удастся, квантовые компьютеры смогут в будущем быстрее решать все задачи, сводящиеся к правильному выбору одной вероятности из очень многих.

9.5.6. Создан однофотонный транзистор квантовых компьютеров

Транзисторы в современных разработках — это крошечные коммутаторы. Такими коммутаторами формируется основа вычислений цифровых устройств. Так, миллиарды транзисторов смартфона обеспечивают маршрутизацию электрических сигналов внутри мобильного устройства.

Квантовые компьютеры также нуждаются в аналогичном аппаратном обеспечении, дабы пользователи получили возможность манипулирования

квантовой информацией. Но конструктивные ограничения новой технологии выделяются более высокими требованиями.

Современные передовые цифровые процессоры невозможно перепрофилировать под квантовые устройства. Квантовой физике необходимы уже так называемые кубиты — квантовые носители информации, функциональность которых предписывает следовать особым правилам, изложенным непосредственно в квантовой физике.

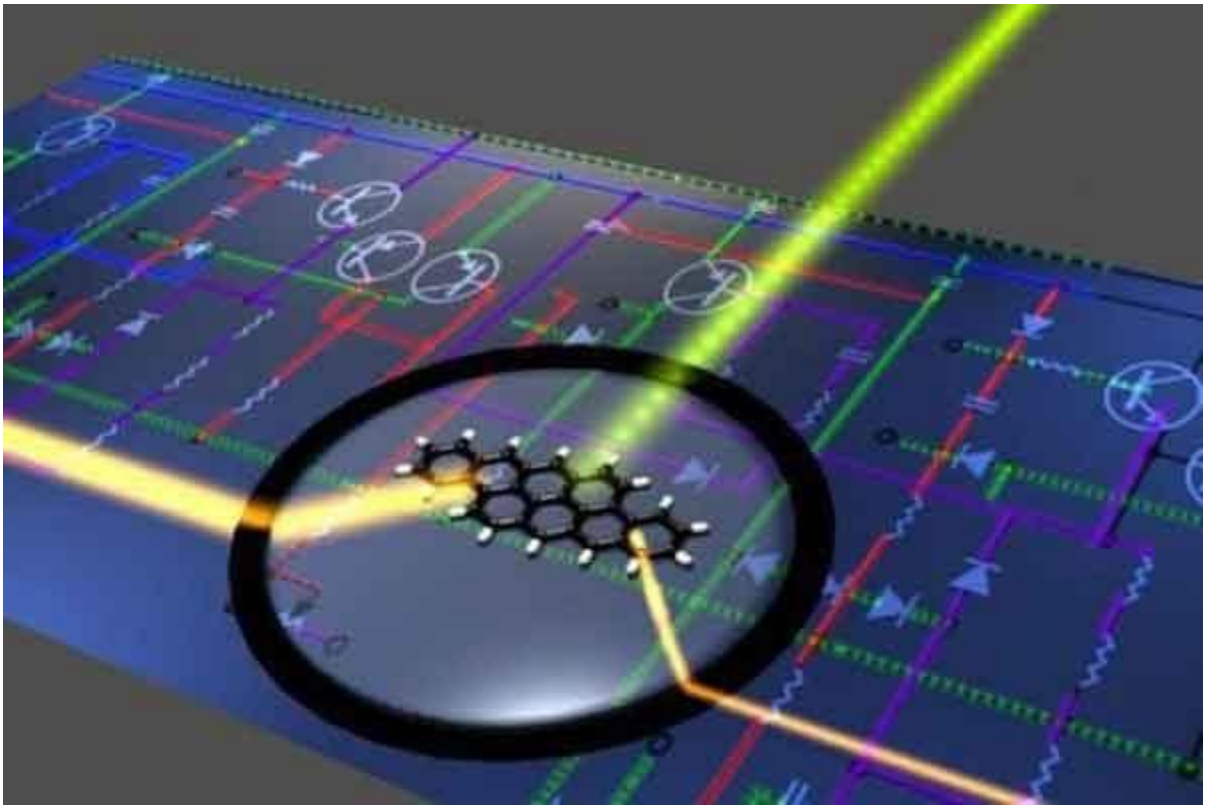

Рис. 9.5. Однофотонный транзистор

Учёные нашли способы применения многих видов квантовых частиц через кубиты, включая фотоны света. Посредством фотонов допустимо быстро передавать информацию на большие расстояния. К тому же фотоны легко совместимы с цифровыми чипами.

Тем не менее, создание квантового транзистора, манипулирующего светом, задача крайне сложная. Здесь требуется взаимодействие фотонов друг с другом, а этот процесс обычно не происходит сам по себе.

Специалисты Университета Мэрилендской школы инженеров Джеймса Кларка и Объединённого Квантового Института (JQI) продемонстрировали первый однофотонный транзистор с использованием полупроводниковой микросхемы.

Принцип действия инновационного устройства достаточно подробно описывается в журнале «Science». Примерно один миллион таких однофотонных

транзисторов можно разместить в одной крупинке поваренной соли. Новый однофотонный транзистор обрабатывает до 10 миллиардов фотонных кубитов ежесекундно.

Изобретатели скромно отмечают о своих достижениях:

Действие однофотонных транзисторов предполагает установку своеобразных затворов между фотонами. Программным обеспечением компьютера предусматривается ряд операций коммуникационного толка. За счёт этого достигается экспоненциальное ускорение вычислительных задач.

Устройство выглядит примерно так: полупроводник с многочисленными отверстиями для лучей света и ловушки у каждого из отверстий. Небольших размеров кристалл, именуемый квантовой (рабочей) точкой, расположен внутри области, где наибольшая интенсивность света.

Аналогично обычной памяти компьютера, рабочая точка хранит информацию о фотонах при входе в устройство. Рабочая точка способна эффективно контактировать с памятью, чтобы опосредовать взаимодействия фотонов. Это означает, что действия одного фотона оказывают влияние на другие фотоны, которые поступают в область чипа позже.

При условии реалистичных инженерных усовершенствований допустима связка массы новых однофотонных транзисторов. Изобретатели надеются, что такие связанные быстродействующие устройства, в конечном итоге, приведут к созданию компактных компьютерных систем. Исследования активно продолжаются.

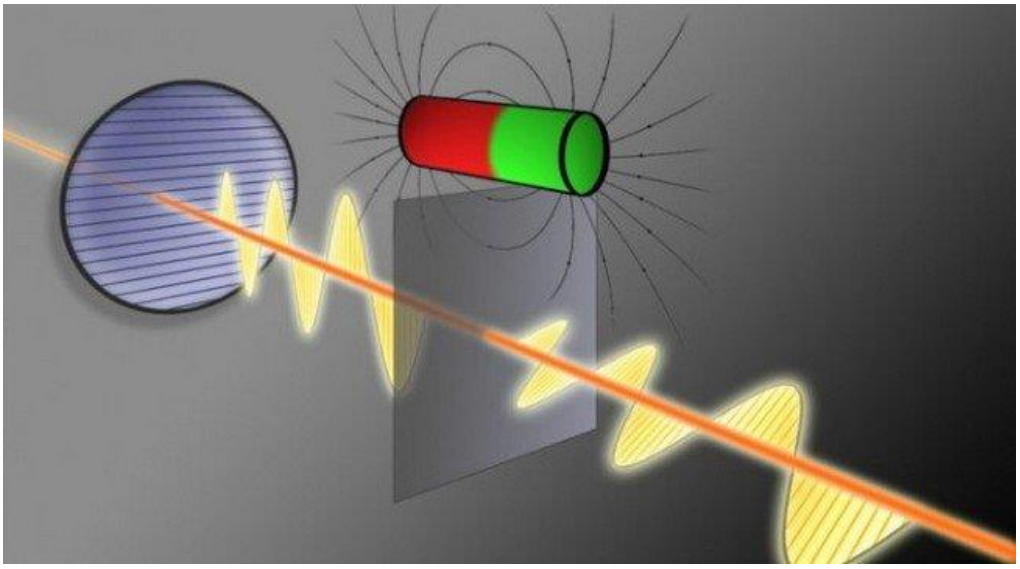

Рис. 9.6. Переключение поляризации света сторонним магнитным полем

Исследователи из Венского университета показали полупроводниковый транзистор, который для переключения между значениями 0 и 1 использует

вместо электрических импульсов свет. Стоит отметить, что команда учёных уже демонстрировала похожий транзистор два года назад, но он имел один существенный недостаток по сравнению с новой ревизией – для его работы требовалась внешняя магнитная катушка (рис. 9.6). Для работы фотонного транзистора нового поколения не только не требуется внешняя магнитная катушка, но и скорость переключений у него гораздо выше, а энергопотребление – ниже.

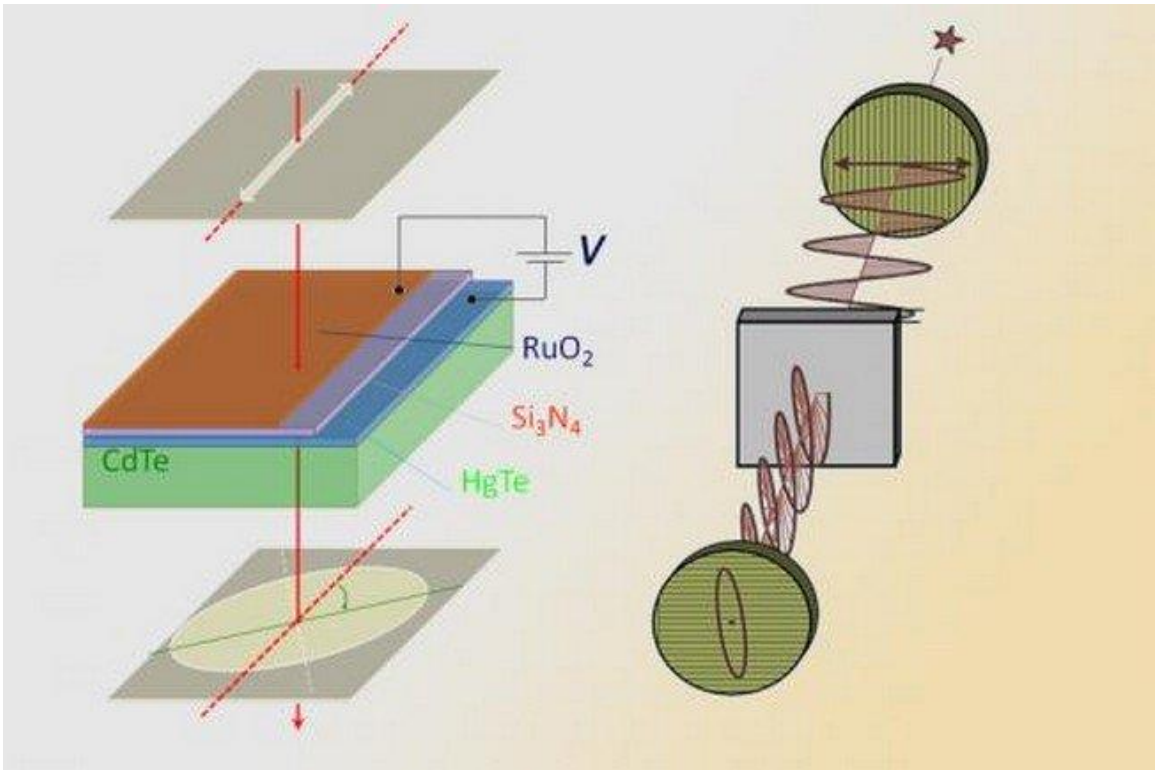

Рис. 9.7. Переключение поляризации света электрическим напряжением

Переключение осуществляется благодаря изменению поляризации света. Теоретически поляризацию света можно изменить, но сделать это без потери значительного количества волн очень сложно. При распространении света через оптически неактивные вещества, на которых воздействует стороннее магнитное поле, поляризация света может меняться (эффект Фарадея). Правда, в нормальных условиях данный эффект слишком незначителен. Группе ученых из Венского университета удалось усилить этот эффект.

Терагерцевое излучение пропускается через специальные пластинки из теллурида ртути и под воздействием напряжения меньше 1 В поляризация световых волн изменяется. Данное излучение относится к невидимому диапазону света с длиной волны около миллиметра и частотой, к которой современные процессоры смогут подойти только через некоторое время. Стоит отметить, что изменение поляризации все ещё осуществляется под воздействием

магнитного поля, но в новых транзисторах сила магнитного поля не имеет приоритетного значения, а сам процесс полностью зависит от количества вовлеченных в него электронов. Волны либо проходят дальше, либо нет – это соответствует переключению между значениями 0 и 1.

Вывод: Современные персональные компьютеры уже практически исчерпали ресурсы для совершенствования. По этому учёные и исследователи считают, что в ближайшем будущем персональные компьютеры кардинально изменятся, так как уже сегодня ведутся разработки новейших технологий, которые ранее никогда не применялись.

9.6. Компьютерные параллельные системы

Производительность компьютеров росла экспоненциально, начиная с 1945 года и до настоящего момента (если брать средний показатель за каждые 10 лет). Компьютерная архитектура претерпела значительные изменения, пройдя путь от последовательной до параллельной.

Производительность компьютера непосредственно зависит от времени, требующегося на выполнение основных функций и количество этих основных операций, которые могут быть выполнены одновременно. Время выполнения одной простейшей инструкции в конечном итоге ограничено.

Несложно сделать вывод, что нельзя ограничиваться увеличением скорости лишь за счёт тактовой частоты процессоров. Современные суперкомпьютеры основываются в большей степени на идее использование большого количества относительно не дорогих уже имеющихся процессоров.

Это подразумевает и такие системы, как: суперкомпьютеры, оборудованные тысячами процессоров; сети рабочих станций; мультипроцессорные рабочие станции и т.д.

Мультикомпьютер – это некоторое количество машин фон Неймана (узлов) связанных между собой сетью. Каждый компьютер выполняет свою программу. Эти программы могут иметь доступ к локальной памяти и умеют посылать и получать сообщения через сеть. Сообщения, используемые для связи между компьютерами, эквивалентны операциям чтения или записи с удалённой памятью. В идеализированной сети время доставки сообщения между машинами не зависит от расстояния между узлами или сетевого трафика, но зависит от длины отправляемого письма.

Определяющий параметр модели мультикомпьютера – это то, что доступ к локальной (в том же узле) памяти менее дорог, чем доступы к удалённой (находящейся в другом узле) памяти. Т.е. операции чтения и записи менее

дороги, чем отправление или получение сообщений. Следовательно, желательно, чтобы обращение к локальным данным было гораздо более частым, чем к удалённым данным. Это фундаментальное свойство программного обеспечения называется локальностью. Значение локальности зависит от отношения стоимости дистанционного доступа к локальному.

Рассмотрим важнейшие компьютерные архитектуры. Мультикомпьютер очень похож на то, что часто называют компьютером с распределённой памятью MIMD (Multiple Instruction Multiple Data). MIMD означает, что каждый процессор может обрабатывать отдельный поток инструкций над его собственными локальными данными. Распределенная память означает, что память распределена между процессорами.

Другой класс суперкомпьютеров – мультипроцессор или MIMD компьютер с разделяемой памятью. В мультипроцессоре все процессоры делят доступ к общей памяти, обычно через шину или через иерархию шин. В идеализированной модели параллельной машины с произвольным доступом (PRAM) часто используют теоретически изучаемые параллельные алгоритмы, любой процессор может получить доступ к любому элементу памяти в одно и то же время. Такая архитектура обычно подразумевает некоторые специальные формы устройства памяти. Количество обращений к разделяемой памяти уменьшается за счет хранения копий часто используемых данных в кэше, связанном с каждым процессором.

Доступ к этому кэшу намного быстрее, чем доступ к разделяемой памяти, следовательно, локальность очень важна. Программы, разработанные для мультикомпьютеров, могут так же эффективно работать на мультипроцессорах, потому что разделяемая память позволяет эффективную реализацию передачи сообщений. Представители этого класса – Silicon Graphics Challenge, Sequent Symmetry и многие мультипроцессорные рабочие станции.

Более специализированный класс параллельных компьютеров – это SIMD (Single Instruction Miltiple Data) компьютеры. В SIMD машинах все процессоры оперируют с одним и тем же потоком инструкций над различными порциями данных. Этот подход может уменьшить сложность программного и аппаратного обеспечения, но это имеет смысл только для специализированных проблем, характеризуемых высокой степенью закономерности, например обработка изображений и определенные виды цифрового моделирования. Алгоритмы, применимые на мультикомпьютерах, не могут в общих чертах эффективно выполняться в SIMD компьютерах.

9.7. Нейровычислительные системы

Нейровычислительное устройство – это система, функционирование которой в максимальной степени ориентировано на реализацию нейросетевых алгоритмов. Основное отличие нейрокомпьютеров от других вычислительных систем – это обеспечение высокого параллелизма вычислений за счет применения специализированного нейросетевого логического базиса или конкретных архитектурных решений. Использование возможности представления нейросетевых алгоритмов для реализации на нейросетевом логическом базисе является основной предпосылкой резкого увеличения производительности нейрокомпьютеров.

Сейчас разработки цифровых нейрокомпьютеров наиболее активно ведутся по следующим направлениям:

- программная эмуляция нейросетевых алгоритмов на основе использования обычных вычислительных средств и прикладного программного обеспечения (ППО) по моделированию нейросетей;
- программно-аппаратная эмуляция нейросетей на основе стандартных вычислительных средств с подключаемым виртуальным нейросетевым блоком, выполняющим основные нейрооперации, и ППО, осуществляющим функции общего управления;
- аппаратная реализация нейронных сетей.

Несмотря на то, что наибольшего эффекта при реализации алгоритмов удается добиться лишь с использованием нейрокомпьютеров третьего направления, их широкое применение ограничивается высокой сложностью. Например, нейрокомпьютер Synaps1 – один из представителей нейрокомпьютеров третьего направления, имеет мультипроцессорную архитектуру, оригинальное построение подсистемы памяти, а для выполнения вычислительных операций использует сигнальные процессоры и специальные сигнальные матричные процессоры MA16. За счет этого производительность нейрокомпьютера составила порядка несколько миллиардов умножений и сложений в секунду. Программное обеспечение данной системы включает в себя ОС Synaps1 с библиотекой нейроалгоритмов, а также ППО: базовую библиотеку НС, компилятор языка программирования нейроалгоритмов (nAPL) (набор библиотечных функций для C++) и т.п. Прикладные исследования показали, что использование нейрокомпьютеров третьего направления позволяет повысить производительность обычных вычислительных систем как минимум на три

порядка и моделировать нейронные сети с миллионами соединений. Так, например, Synaps1 позволяет моделировать нейросеть с 64 миллионами синапсов с использованием различных активационных функций.

Два класса компьютерных систем, которые иногда используют как параллельные компьютеры – это локальная сеть (LAN), в которой компьютеры, находящиеся в физической близости (например, то же строение), связываются быстрой сетью, и глобальная сеть (WAN), в которой соединены географически удаленные компьютеры. Хотя системы такого типа доставляют дополнительные проблемы, такие как безопасность, надежность, они могут быть рассмотрены для различных целей как мультикомпьютеры, хотя и с высокой стоимостью удаленного доступа.

9.8. Рабочие станции

Рабочие станции — профессиональные компьютеры с комплексом технических и программных средств, предназначенных для решения определенного круга задач: мультимедийных (обработка изображений, видеозаписей, звука), САПР, ГИС, научно-технических расчетов, запуска промышленных приложений, работы в «полевых условиях» и пр.

Первые рабочие станции появились еще в конце 1960-х, и сегодня они широко применяются в видеомонтаже, 2D- и 3D-графике, автоматизированном проектировании и конструировании, а также других ресурсоемких вычислениях. С выпуском 64-разрядных версий операционных систем Windows высокопроизводительные рабочие станции под UNIX с проприетарными программными средами уступили позиции системам с Windows и Linux.

Рабочая станция может использоваться и на различных предприятиях, и дома. Сегодня все больше профессиональных пользователей — специалистов по автоматизированному проектированию и моделированию, художников графики, мультипликаторов, фотографов и видеомонтажеров — частично или полностью переходят на работу в домашних офисах. Им нужны системы повышенной вычислительной мощности и функциональности. Что же отличает рабочую станцию от «простого» компьютера?

В ПК и рабочих станциях применяются схожие базовые технологии, но разработчики последних уделяют особое внимание надежности системы и оптимизации ее производительности под специальные приложения: САПР, мультимедийные, геоинформационные, финансовые и другие — в зависимости от назначения системы, по существу представляющей собой программно-аппаратный комплекс.

При обработке геопространственных данных, построении трехмерных моделей местности и других подобных задачах на стандартных ПК приходится сталкиваться с нехваткой памяти, задержками и «подвисаниями», в то время как рабочие станции демонстрируют высокую производительность и хорошо справляются с визуализацией данных.

Рабочая станция — не просто компьютер, это целый ряд механизмов, предназначенных для выполнения самых ресурсоемких задач, обеспечения бесперебойной работы и расширенной функциональности.

Отличительные черты современных рабочих станций, выделяющие их в ряду ПК, — это высокая скорость работы с данными, мощный процессор, большая ёмкость быстрой оперативной памяти, интегрированный высокопроизводительный сетевой контроллер, профессиональная графическая подсистема. Таким образом, хотя граница между рабочими станциями младшего класса и ПК весьма размыта, они фактически по всем параметрам превосходят обычные настольные компьютеры или ноутбуки, включая игровые модели.

Профессиональные рабочие станции предназначены для выполнения приоритетных бизнес - задач и предъявляют высокие требования к производительности и надежности системы, поэтому в них применяются высококачественные компоненты, а сами рабочие станции проходят строгий процесс тестирования. Они рассчитаны на бесперебойную работу и длительный цикл эксплуатации. Проектировщики и дизайнеры, использующие рабочие станции, выполняют ответственные задачи и должны четко выдерживать сроки, а выход из строя ПК может негативно повлиять на бизнес-процессы.

Пакеты автоматизированного проектирования требуют высокой производительности для работы со сложными макетами, поэтому в них используются процессоры и графические карты профессионального уровня. Это позволяет, например, инженеру-проектировщику быстрее анализировать результаты каждого этапа проекта, оперативно вносить изменения.

Типовая рабочая станция для САПР в настольном форм-факторе — это система на базе процессора Intel Core i7 / Intel Xeon E5 с высокоскоростной памятью DDR4 с ECC, графической картой NVIDIA Quadro или AMD FirePro. Схожее оснащение имеют мобильные рабочие станции, но в них используются менее мощные «мобильные» аналоги системных компонентов. Мобильные графические станции предназначены для тех, кто много перемещается, но хочет всегда иметь под рукой высокопроизводительное рабочее место (рис. 9.8).

Типовые области применения мобильных графических рабочих станций — это 3D-моделирование деталей, работа с малыми и средними сборками; дизайн и архитектурное проектирование; организация производительного мобильного рабочего места там, где это необходимо.

Важнейшее отличие рабочей станции от ПК — это её сертификация для работы со специализированными приложениями.

Графические карты профессионального уровня отличаются от обычных продуктов такого класса сертификацией для поддержки специальных приложений, оптимизацией и стабильностью драйверов, а также дополнительной функциональностью, определяемой спецификой прикладного ПО. Кроме того, поставщики графического оборудования для профессионалов, в первую очередь AMD и NVIDIA, обычно предусматривают расширенный период поддержки пользователей в течение 18 месяцев.

Рис. 9.8. Мобильные рабочие станции

Сертификация — одна из ключевых особенностей рабочих станций. Сертификация независимых поставщиков ПО — итог продуманного процесса разработки и тщательного тестирования. Она гарантирует, что прошедшие эту процедуру приложения будут работать надежно и с максимальной производительностью. Сертифицированные рабочие станции отвечают специфическим особенностям прикладных задач, обеспечивают высокую производительность и стабильность ключевых параметров функционирования, оптимальное распределение нагрузки между центральным процессором (CPU) и графическим процессором (GPU).

Для оптимизации своих драйверов AMD и NVIDIA работают с ведущими разработчиками ПО: Adobe, Autodesk, Dassault и другими. Рабочие станции и GPU тестируются и сертифицируются для работы с сотнями программных пакетов CAD/CAM/CAE.

Рабочие станции САПР — подкласс графических рабочих станций — позволяют создавать конструкторскую и / или технологическую документацию, геометрические модели (твердотельные, трёхмерные, составные), а также чертежи изделия. Аппаратные ресурсы такой рабочей станции задействуют все функциональные возможности профессиональных САПР: CATIA, CREO, NX, Inventor, «Компас», AutoCAD, Solid Works, SolidEdge, T-Flex CAD и других.

Графические рабочие станции для систем автоматизации проектных работ (САПР) представляют широкий класс систем для задач CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing) и CAE (Computer Aided Engineering). Современные рабочие станции САПР условно принято разделять на следующие группы:

Начальный уровень: 2D-моделирование изделий, работа с малыми сборками в 3D; дизайн и архитектурное проектирование начального уровня.

Средний уровень: 3D-моделирование деталей, работа с малыми и средними сборками; дизайн и архитектурное проектирование.

Рабочие станции старшего класса: высокопроизводительные вычисления с использованием специализированного ПО; инженерный анализ и имитационное моделирование; подготовка фотореалистичных изображений (рендеринг); обработка видеозаписей и наложение эффектов; работа со сверхбольшими сборками.

Мобильная рабочая станция Dell Precision 15 (3510) — один из хороших примеров развития мобильной производительности для САПР (рис. 9.9). По сравнению с предыдущей версией производительность процессора выше примерно на 15 %, графики — на 20 %, скорость оперативной памяти — на 33 %. Накопители SSD стали в 3 раза быстрее, а их емкость достигает 1 Тбайта. Система также может комплектоваться жесткими дисками SATA форм-фактора 2,5 дюйма и емкостью от 0,5 до 1 Тбайта (5400 или 7200 об/мин), которые позволяют хранить самые крупные и сложные проекты.

Dell Precision 15 (3510) получила дисплей с разрешением QHD или 4K, процессоры микроархитектуры Skylake (четырехъядерные процессоры Intel Core i5 и i7 шестого поколения), интерфейсы Thunderbolt 3.0 (до 40 Гбит/с) и USB Type C. К ней можно подключить одновременно до четырех 4K-мониторов.

Рис. 9.9. Мобильная рабочая станция Dell Precision 15 (3510)

Системы оснащены оперативной памятью DDR4 2133 МГц (до 32 Гбайт) и графическими адаптерами AMD FirePro с 2 Гбайтами памяти GDDR5 (рис. 9.10). Они обеспечивают более высокую производительность, чем графические карты потребительского уровня, в самых разных задачах: от отрисовки до сложного моделирования.

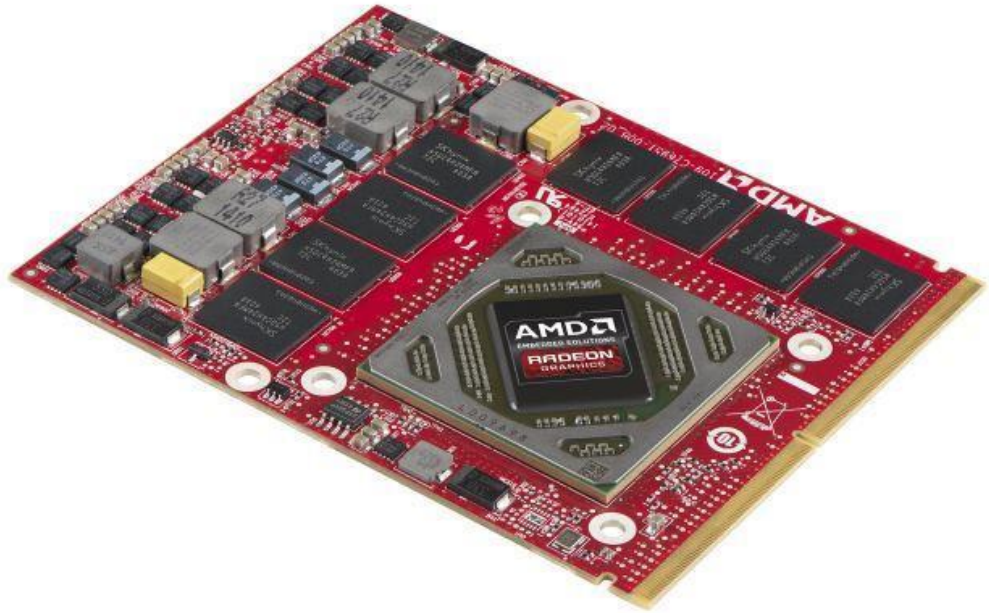

Рис. 9.10. Графическая карта AMD FirePro W5130M содержит 512 ядер и 128-битовую графическую карту GDDR5.

Dell тщательно тестирует свои рабочие станции совместно с независимыми производителями ПО: Autodesk, Adobe, Solidworks и другими, чтобы добиться гармоничной работы Precision со специализированным программным обеспечением и повысить качество технической поддержки Dell ProSupport Plus.

9.9. Шестое поколение вычислительной техники (1990 -)

На ранних стадиях эволюции вычислительных средств смена поколений ассоциировалась с революционными технологическими прорывами. Каждое из первых четырех поколений имело четко выраженные отличительные признаки и вполне определенные хронологические рамки. Последующее деление на поколения уже не столь очевидно и может быть понятно лишь при ретроспективном взгляде на развитие вычислительной техники. Пятое и шестое поколения в эволюции ВТ — это отражение нового качества, возникшего в результате последовательного накопления частных достижений, главным образом в архитектуре вычислительных систем и, в несколько меньшей мере, в сфере технологий.

Поводом для начала отсчета нового поколения стали значительные успехи в области параллельных вычислений, связанные с широким распространением вычислительных систем с массовым параллелизмом, обозначаемых аббревиатурой MPP (massively parallel processing). Упрощённо определим их как совокупность большого количества (до нескольких тысяч) взаимодействующих, но достаточно автономных вычислительных машин. По вычислительной мощности такие системы уже успешно конкурируют с суперЭВМ, которые, как ранее отмечалось, по своей сути являются векторными ВС. Появление вычислительных систем с массовым параллелизмом дало основание говорить о производительности, измеряемой в TFLOPS (1 TFLOPS соответствует 10^{12} операциям с плавающей запятой в секунду).

Вторая характерная черта шестого поколения — резко возросший уровень рабочих станций. В процессорах новых рабочих станций успешно совмещаются RISC - архитектура, конвейеризация и параллельная обработка. Некоторые рабочие станции по производительности сопоставимы с суперЭВМ четвёртого поколения. Впечатляющие характеристики рабочих станций породили интерес к гетерогенным (неоднородным) вычислениям, когда программа, запущенная на одной рабочей станции, может найти в локальной сети не занятые в данный момент другие станции, после чего вычисления распараллеливаются и на эти простаивающие станции.

Наконец, третьей приметой шестого поколения в эволюции ВТ стал взрывной рост глобальных сетей. Завершая обсуждение эволюции ВТ, отметим, что верхняя граница шестого поколения хронологически пока не определена и дальнейшее развитие вычислительной техники может внести в его характеристику новые коррективы. Не исключено также, что последующие события дадут повод говорить и об очередном поколении.

Вычислительные кластеры уже давно используются для решения задач, с которыми не справляется один процессор. Решение, построенное на множестве недорогих компьютеров, оказывается более эффективным, чем большие серверы и мэйнфреймы.

С развитием облачных вычислений стало возможно получить в управление множество серверов и менять их количество в больших пределах в течение часа. Кроме этого, облачные решения становятся дешевле и популярней с каждым годом.

Помимо чисто вычислительных возможностей облака, с продуктовой точки зрения на сегодняшний день почти от всех приложений ожидается поддержка работы группы людей и/или возможности хранить данные за пределами устройства.

Рис. 9.11. Модели обслуживания в облачных приложениях

Тренд остается актуальным как минимум последние 10 лет и вполне возможно станет ещё более актуален, когда сети станут ещё быстрее, а чипы мобильных устройств окончательно упрутся в ограничения тех-процесса и батарейки.

Модели обслуживания в облачных приложениях показаны на рис. 9.11.

Программное обеспечение как услуга (SaaS, англ. Software-as-a-Service) — модель, в которой потребителю предоставляется возможность использования прикладного программного обеспечения провайдера, работающего в облачной инфраструктуре и доступного из различных клиентских устройств или посредством тонкого клиента, например, из браузера (например, веб-почта) или посредством интерфейса программы. Контроль и управление основной физической и виртуальной инфраструктурой облака, в том числе сети, серверов, операционных систем, хранения, или даже индивидуальных возможностей приложения (за исключением ограниченного набора пользовательских настроек конфигурации приложения) осуществляется облачным провайдером.

Платформа как услуга (PaaS, англ. Platform-as-a-Service) — модель, когда потребителю предоставляется возможность использования облачной инфраструктуры для размещения базового программного обеспечения для последующего размещения на нём новых или существующих приложений (собственных, разработанных на заказ или приобретённых тиражируемых приложений). В состав таких платформ входят инструментальные средства создания, тестирования и выполнения прикладного программного обеспечения — системы управления базами данных, связующее программное обеспечение, среды исполнения языков программирования — предоставляемые облачным провайдером.

Инфраструктура как услуга (IaaS, англ. Infrastructure-as-a-Service) предоставляется как возможность использования облачной инфраструктуры для самостоятельного управления ресурсами обработки, хранения, сетями и другими фундаментальными вычислительными ресурсами, например, потребитель может устанавливать и запускать произвольное программное обеспечение, которое может включать в себя операционные системы, платформенное и прикладное программное обеспечение. Потребитель может контролировать операционные системы, виртуальные системы хранения данных и установленные приложения, а также обладать ограниченным контролем за набором доступных сетевых сервисов. Контроль и управление основной физической и виртуальной

инфраструктурой облака, в том числе сети, серверов, типов используемых операционных систем, систем хранения осуществляется облачным провайдером.

Глава 10. Интернет вещей

10.1. Понятие интернета вещей

Интернет вещей (Internet of things – IoT) – это глобальная сеть компьютеров, датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств (актуаторов), связывающихся между собой с использованием интернет протокола IP (Internet Protocol). Например, для решения определенной задачи компьютер связывается через публичный интернет с небольшим устройством, к которому подключён соответствующий датчик (например, температуры), как это показано на рисунке.

Рис. 10.1. Простая схема Интернета вещей

Концепция IoT играет определяющую роль в дальнейшем развитии инфокоммуникационной отрасли [14].

В связи с бурным развитием сетей с пакетной коммутацией и прежде всего Интернета в начале 2000-х годов мировое телекоммуникационное сообщество сначала выработало, а затем и приступило к реализации новой парадигмы развития коммуникаций – сетей следующего поколения NGN (Next Generation Networks). Технологии NGN уже прошли эволюционный путь развития от гибких коммутаторов (Softswitch) до подсистем мультимедийной связи IMS (IP Multimedia Subsystem) и беспроводных сетей долговременной эволюции LTE (Long Term Evolution). При этом всегда предполагалось, что основными пользователями сетей NGN будут люди и, следовательно, максимальное число абонентов в таких сетях всегда будет ограничено численностью населения планеты Земля.

Однако, в последнее время значительное развитие получили методы радиочастотной идентификации RFID (Radio Frequency IDentification), беспроводные сенсорные сети WSN (Wireless Sensor Network), коммуникации

малого радиуса действия NFC (Near Field Communication) и межмашинные коммуникации M2M (Machine-to-Machine), которые, интегрируясь с интернет, позволяют обеспечить простую связь различных технических устройств («вещей»), число которых может быть огромным. К 2020 году – 50 миллиардов. Таким образом, в настоящее время происходит эволюционный переход от «Интернета людей» к «Интернету вещей», IoT (Internet of Things).

В IoT каждая вещь имеет свой уникальный идентификатор, которые совместно образуют континуум вещей, способных взаимодействовать друг с другом, создавая временные или постоянные сети. Так вещи могут принимать участие в процессе их перемещения, делясь сведениями о текущей геопозиции, что позволяет полностью автоматизировать процесс логистики, а имея встроенный интеллект, вещи могут менять свои свойства и адаптироваться к окружающей среде, в том числе для уменьшения энергопотребления. Они могут обнаруживать другие, так или иначе связанные с ними вещи, и налаживать с ними взаимодействие. IoT позволяет создавать комбинацию из интеллектуальных устройств, объединённых сетями связи, и людей. Совместно они могут создавать самые разнообразные системы, например, для работы в средах, неудобных или недоступных для человека (в космосе, на большой глубине, на ядерных установках, в трубопроводах и т.п.).

Процесс развития Интернета вещей происходил так. Все началось с необходимости оптимизации системы логистики и управления системой снабжения предприятий. Вторая волна инноваций была обусловлена необходимостью сокращения затрат в системах наблюдения, безопасности, транспорта и др. Третья была вызвана потребностью в геолокационных сервисах. Четвертая волна будет обусловлена необходимостью дистанционного присутствия человека на месте совершения требующего его внимания событий, которое станет возможным благодаря миниатюрным встроенным процессорам. А следующим шагом будет возможность создания будущих сетей (Future Networks) с ячеистой топологией, включающих в себя метки, датчики, средства измерения и управляющие устройства.

10.2 Базовые принципы IoT

Интернет вещей основывается на трех базовых принципах. Во-первых, повсеместно распространенную коммуникационную инфраструктуру, во-вторых, глобальную идентификацию каждого объекта и, в-третьих, возможность каждого объекта отправлять и получать данные посредством персональной сети или сети Интернет, к которой он подключён.

Наиболее важными отличиями Интернета вещей от существующего интернета людей являются:

фокус на вещах, а не на человеке;

существенно большее число подключённых объектов;

существенно меньшие размеры объектов и невысокие скорости передачи данных;

фокус на считывании информации, а не на коммуникациях;

необходимость создания новой инфраструктуры и альтернативных стандартов.

Концепция сетей следующего поколения NGN предполагала возможность коммуникаций людей (непосредственно или через компьютеры) в любое время и в любой точке пространства. Концепция Интернета вещей включает ещё одно направление – коммуникация любых устройств или вещей.

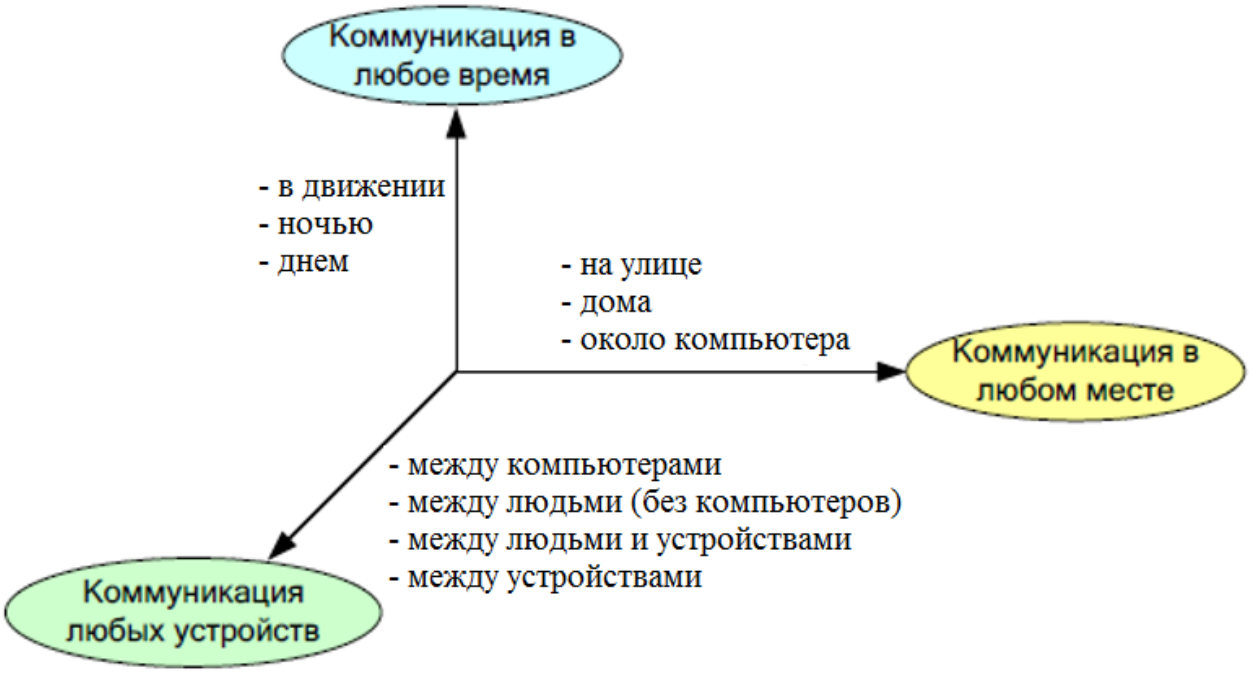

Рис. 10.2. Возможности коммуникации в Интернете вещей

Новое направление коммуникаций, реализуемое Интернетом вещей (источник: МСЭ-Т Y.2060)

По официальному определению Интернет вещей (IoT) – глобальная инфраструктура информационного общества, обеспечивающая передовые услуги за счёт организации связи между вещами (физическими или виртуальными) на основе существующих и развивающихся совместимых информационных и коммуникационных технологий.

Под «вещами» (things) здесь понимается физический объект (физическая вещь) или объект виртуального (информационного) мира (виртуальная вещь, например мультимедийный контент или прикладная программа), которые могут быть идентифицированы и объединены через коммуникационные сети.

Кроме понятия «вещь», МСЭ-Т также использует понятие «устройство» (device), под которым понимается часть оборудования с обязательными возможностями по коммуникации и необязательными возможностями по сенсорингу/зондированию, приведению в действие вещи, сбору, обработке и хранению данных. Отсюда следует, что МСЭ-Т в большей степени уделяет вниманию аспектам коммуникаций и межсоединений, нежели приложениям IoT.

Виртуальные вещи могут существовать без их физических воплощений, в то время как физическим объектам/вещам обязательно соответствует минимум один виртуальный объект. При этом ведущую роль играют именно устройства, которые могут собирать различную информацию и распространять её по коммуникационным сетям различными способами: через шлюзы и через сеть; без шлюзов, но через сеть; напрямую между собой. Стандарты предусматривают использование для IoT множества сетевых технологий – глобальных сетей, локальных сетей, беспроводных самоорганизующихся (ad-hoc) и ячеистых (mesh) сетей. Указанные сети связи переносят данные, собранные устройствами, к соответствующим программным приложениям, а также передают команды от программных приложений к устройствам.

Вещи и связанные с ними устройства могут обладать полноценными *управляющими процессорами для обработки данных в виде «системы-на-кристалле»,* в том числе с собственной операционной системой, блоком сенсоринга/зондирования окружающей среды и блоком коммуникации.

Следует различать понятия «Интернет вещей» и «интернет-вещь». Под интернет-вещью понимается любое устройство, которое:

имеет доступ к сети Интернет с целью передачи или запроса каких-либо данных,

имеет конкретный адрес в глобальной сети или идентификатор, по которому можно осуществить обратную связь с вещью,

имеет интерфейс для взаимодействия с пользователем.

Интернет-вещи имеют единый протокол взаимодействия, согласно которому любой узел сети равноправен в предоставлении своих сервисов. На пути перехода к воплощению идеи *Интернета вещей* стояла проблема, связанная с протоколом IPv4, ресурс свободных сетевых адресов которого уже

практически исчерпал себя. Однако подготовка к повсеместному внедрению версии *протокола IPv6* позволяет решить эту проблему и приближает идею Интернета вещей к реальности.

10.3. Стандартизация IoT

В рамках деятельности сектора стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) имеются три глобальных инициативы GSI (Global Standards 11 Initiative). Под глобальной инициативой понимается комплекс работ, выполняемых параллельно разными исследовательскими комиссиями МСЭ в соответствии со скоординированным планом работы. Одна из таких инициатив посвящена стандартизации Интернета вещей – IoT-GSI (Global Standards Initiative on Internet of Things). Две другие глобальные инициативы – по стандартизации сетей последующих поколений NGN-GSI и систем телевидения на основе протокола Интернет IPTV-GSI – также базируются на использовании IP-технологий, как и IoT-GSI.

В Рекомендации Y.2060 приведена эталонная модель IoT, которая очень похожа на модель NGN и также включает четыре базовых горизонтальных уровня (рис. 10.3):

уровень приложений IoT;

уровень поддержки приложений и услуг;

сетевой уровень;

уровень устройств.

Уровень приложений IoT в Рекомендации Y.2060 детально не рассматривается.

Уровень поддержки приложений и услуг включает общие возможности для различных объектов IoT по обработке и хранению данных, а также возможности, необходимые для некоторых приложений IoT или групп таких приложений.

Сетевой уровень включает сетевые возможности (функция управления ресурсами сети доступа и транспортной сети, управления мобильностью, функции авторизации, аутентификации и расчетов, AAA) и транспортные возможности (обеспечение связности сети для передачи информации приложений и услуг IoT).

Наконец, уровень устройств включает возможности устройства и возможности шлюза. Возможности устройства предполагают прямой обмен с сетью связи, обмен через шлюз, обмен через беспроводную динамическую ad-hoc сеть, а также временный останов и возобновление работы устройства для энергосбережения. Возможности шлюза предполагают поддержку множества

интерфейсов для устройств (шина CAN, ZigBee, Bluetooth, WiFi и др.) и для сетей доступа/транспортных сетей (2G/3G, LTE, DSL и др.). Другой возможностью шлюза является поддержка конверсии протоколов, в случае, если протоколы интерфейсов устройств и сетей отличаются друг от друга.

Существует также два вертикальных уровня – уровень управления и уровень безопасности, охватывающие все четыре горизонтальных уровня. Возможности вертикального уровня эксплуатационного управления предусматривают управление последствиями отказов, возможностями сети, конфигурацией, безопасностью и данными для биллинга. Основными объектами управления являются устройства, локальные сети и их топология, трафик и перегрузки на сетях. Возможности вертикального уровня безопасности зависят от горизонтального уровня. Для уровня поддержки приложений и услуг определены функции AAA, антивирусная защита, тесты целостности данных. Для сетевого уровня – возможности авторизации, аутентификации, защиты информации протоколов сигнализации. На уровне устройств – возможности авторизации, аутентификации, контроль доступа и конфиденциальность данных.

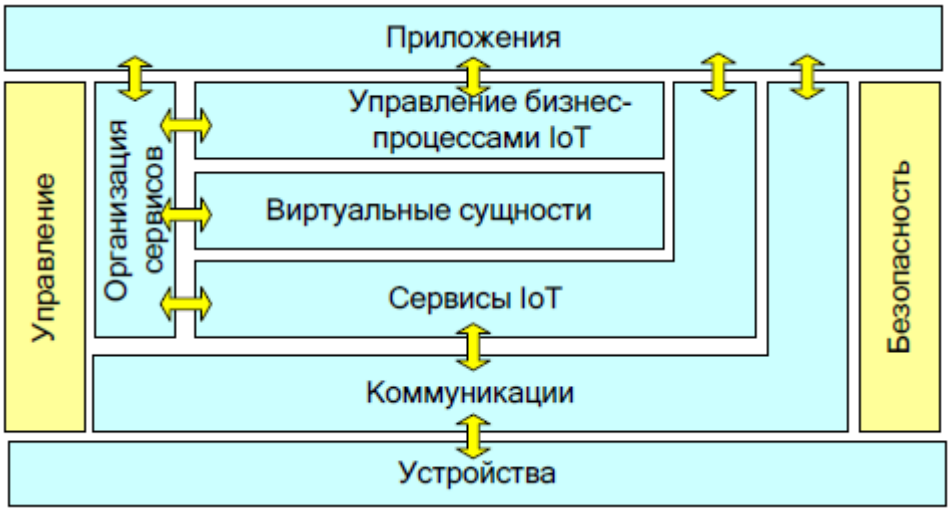

Рис. 10.3. Функциональная модель архитектуры IoT-A

В модели архитектуры IoT-A фигурируют два важных понятия. Сеть с ограничениями характеризуется относительно низкими скоростями передачи – менее 1 Мбит (например, стандарт IEEE 802.15.4) и достаточно высокими задержками. Сеть без ограничений соответственно характеризуется высокими скоростями передачи данных (десятки Мбит/с и более) и похожа на существующую сеть Интернет. Различие данных моделей сетей показано на рис. 10.4.

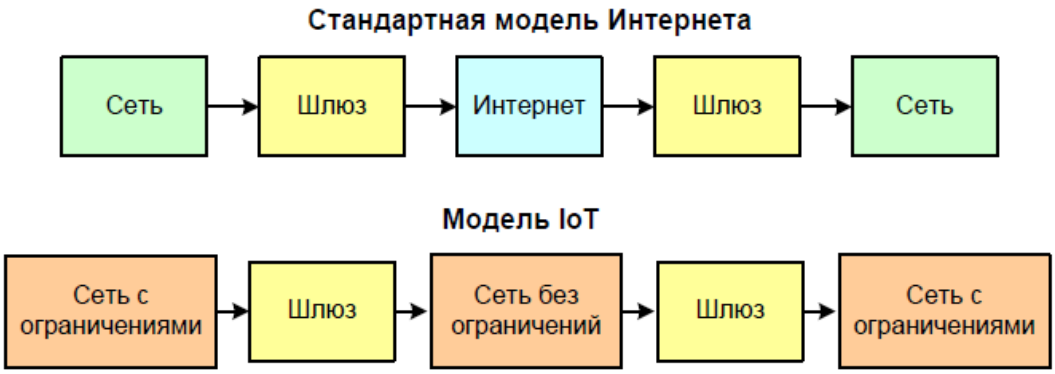

Рис. 10.4. Два вида сетей для IoT

10.4. Архитектура IoT

Интернет вещей концептуально принадлежит к сетям следующего поколения, поэтому его архитектура во многом схожа с известной четырехслойной архитектурой NGN. IoT состоит из набора различных инфокоммуникационных технологий, обеспечивающих функционирование Интернета вещей, и его архитектура показывает, как эти технологии связаны друг с другом. Архитектура IoT включает четыре функциональных уровня. описанных ниже.

1. Уровень сенсоров и сенсорных сетей. Самый нижний уровень архитектуры IoT состоит из «умных» (smart) объектов, интегрированных с сенсорами (датчиками). Сенсоры реализуют соединение физического и виртуального (цифрового) миров, обеспечивая сбор и обработку информации в реальном масштабе времени. Миниатюризация, приведшая к сокращению физических размеров аппаратных сенсоров, позволила интегрировать их непосредственно в объекты физического мира. Существуют различные типы сенсоров для соответствующих целей, например, для измерения температуры, давления, скорости движения, местоположения и др. Сенсоры могут иметь небольшую память, давая возможность записывать некоторое количество результатов измерений. Сенсор может измерять физические параметры контролируемого объекта/явления и преобразовать их в сигнал, который может быть принят соответствующим устройством. Сенсоры классифицируются в соответствии с их назначением, например, сенсоры окружающей среды, сенсоры для тела, сенсоры для бытовой техники, сенсоры для транспортных средств и т.д.

Большинство сенсоров требует соединения с агрегатором сенсоров (шлюзом), которые могут реализоваться быть реализованы с использованием локальной вычислительной сети (LAN, Local Area Network), таких как Ethernet и Wi-Fi или персональной сети (PAN, Personal Area Network), таких как *ZigBee,*

Bluetooth и ультраширокополосной беспроводной связи на малых расстояниях (UWB, Ultra-Wide Band). Для сенсоров, которые не требуют подключения к агрегатору, их связь с серверами/приложениями может предоставляться с использованием глобальных беспроводных сетей WAN, таких как GSM, GPRS и LTE. Сенсоры, которые характеризуются низким энергопотреблением и низкой скоростью передачи данных, образуют широко известные беспроводные сенсорные сети (WSN, Wireless Sensor Network). WSN набирают все большую популярность, поскольку они могут содержать гораздо больше сенсоров с поддержкой работы от батарей и охватывают большие площади.

2. Уровень шлюзов и сетей. Большой объем данных, создаваемых на первом уровне IoT многочисленными миниатюрными сенсорами, требует надежной и высокопроизводительной проводной или беспроводной сетевой инфраструктуры в качестве транспортной среды. Существующие сети связи, использующие различные протоколы, могут быть использованы для поддержки межмашинных коммуникаций M2M и их приложений. Для реализации широкого спектра услуг и приложений в IoT необходимо обеспечить совместную работу множества сетей различных технологий и протоколов доступа в гетерогенной конфигурации. Эти сети должны обеспечивать требуемые значения качества передачи информации, и прежде всего по задержке, пропускной способности и безопасности. Данный уровень состоит из конвергентной сетевой инфраструктуры, которая создается путем интеграции разнородных сетей в единую сетевую платформу. Конвергентный абстрактный сетевой уровень в IoT позволяет через соответствующие шлюзы нескольким пользователям использовать ресурсы в одной сети независимо и совместно без ущерба для конфиденциальности, безопасности и производительности.

3. Сервисный уровень. Сервисный уровень содержит набор информационных услуг, призванных автоматизировать технологические и бизнес операции в IoT: поддержки операционной и бизнес деятельности (OSS/BSS, Operation Support System/Business Support System), различной аналитической обработки информации (статистической, интеллектуального анализа данных и текстов, прогностическая аналитика и др.), хранения данных, обеспечения информационной безопасности, управления бизнес-правилами (BRM, Business Rule Management), управления бизнес-процессами (BPM, Business Process Management) и др.

4. Уровень приложений. На четвертом уровне архитектуры IoT существуют различные типы приложений для соответствующих промышленных секторов и

сфер деятельности (энергетика, транспорт, торговля, медицина, образование и др.). Приложения могут быть «вертикальными», когда они являются специфическими для конкретной отрасли промышленности, а также «горизонтальными», (например, управление автопарком, отслеживание активов и др.), которые могут использоваться в различных секторах экономики.

10.5. Веб вещей WoT

Составной частью Интернета вещей является Веб вещей (WEB of Things, WoT), который обеспечивает взаимодействие различных интеллектуальных объектов («вещей») с использованием стандартов и механизмов Интернет, таких как унифицированный (единообразный) идентификатор ресурса URI (Uniform Resource Identifier), протокол передачи гипертекста HTTP (HyperText Transfer Protocol), стиль построения архитектуры распределенного приложения REST (Representational State Transfer) и др. Фактически WoT предусматривает реализацию концепции IoT на прикладном уровне с использованием уже существующих архитектурных решений, ориентированных на разработку web-приложений. Другими словами данные с умных вещей или *управление ими должно быть доступно через WWW-страницы.*

Примеры веб-взаимодействия с устройствами сенсорной сети

Основные свойства WoT:

1. Использует протокол HTTP в качестве приложения, а не в качестве транспортного механизма передачи данных, как он применяется для традиционных WWW-услуг.

2. Обеспечивает синхронную работу интеллектуальных (смарт) объектов через прикладной программный интерфейс REST (также известный как RESTful API) и в целом соответствует ресурсно-ориентированной архитектуре ROA (Resource-Oriented Architecture).

3. Предоставляет асинхронный режим работы интеллектуальных объектов с использованием в значительной степени стандартных Web-технологий, таких как Atom, содержащей формат для описания ресурсов на веб-сайтах и протокол для их публикации, или Web-механизмов передачи данных, таких как модель работы веб-приложения Comet, при которой постоянное HTTP-соединение позволяет веб-серверу отправлять данные браузеру без дополнительного запроса со стороны браузера.

Эти характеристики WoT обеспечивают простое взаимодействие интеллектуальных объектов через Интернет, кроме того они реализуют

единообразный интерфейс для доступа и поддержки функциональности смарт-объектов.

10.7. Когнитивный Интернет вещей CIoT

Чрезвычайно плодотворным может оказать использование в IoT принципов и методов когнитивности (лат. cognitio, «познание, изучение, осознание») путем создания когнитивного Интернета вещей CIoT (Cognitive Internet of Things). Когнитивность означает наличие у объекта IoT следующих общих свойств:

- способность к самоанализу и реконфигурации с учѐтом имеющегося окружения, а также имея в виду достижение целей, обусловленных выполняемыми задачами;
- способность адаптировать своѐ состояние согласно имеющимся условиям или событиям, на основе определенных критериев и знаний о предыдущих состояниях;
- возможность динамически изменять свою топологию и/или эксплуатационные параметры в соответствии с требованиями конкретного пользователя, когда это необходимо в рамках текущей политики обслуживания, оптимизации пропускной способности сети или иных показателей;
- самоконфигурация с наличием распределенного управления на основе правил;
- возможность самостоятельного определения своего текущего состояния и, с учетом этого состояния – планирование своей работы, принимая определенные решения в ответ на сложившуюся ситуацию.

Представляется, что на практике когнитивные интернет - вещи смогут:

- использовать технологии получения знаний о своей операционной и географической среде, местонахождении, например с помощью стандартных технологий позиционирования GPS/ГЛОНАСС;
- устанавливать самостоятельно или использовать готовые правила взаимодействия между объектами (интернет-вещами);
- динамически и автономно корректировать свои операционные (рабочие) параметры и протоколы в соответствии с полученными знаниями для достижения заранее определенных целей, в частности выбирать наиболее подходящую технологию передачи радиосигнала;
- обучаться на основе достигнутых результатов с использованием лучших практик и наиболее эффективных политик для достижения целей создания IoT.

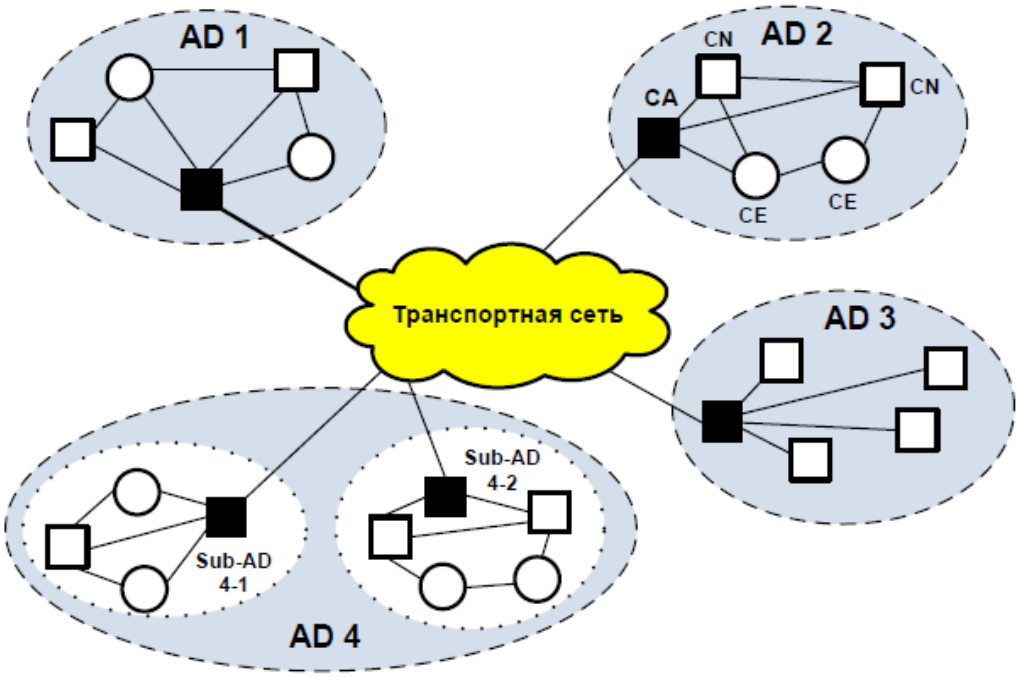

Рис. 10.5. Архитектура когнитивного Интернета вещей CIoT

В архитектуре CIoT появляются когнитивные узлы CN (cognitive node) или когнитивные элементы CE (cognitive element), которые способны автономно оптимизировать, например, технические характеристики сети в соответствии с определенными условиями. В свою очередь CE или CN объединяются в домены автономности AD (Autonomous Domain), где эти устройства относительно тесно связаны между собой, в том числе на определенной территории, и могут кооперировать своѐ поведение. При этом каждое CE или CN сохраняет свойство автономности. В свою очередь, многие домены AD могут трансгранично взаимодействовать и кооперироваться через мультидоменную кооперацию MDC (Multi- Domain Cooperation). Для организации такого взаимодействия в каждом автономном домене используется когнитивный агент CA (Cognitive Agent), который взаимодействует с CE или CN в своем домене. Таким образом, взаимодействие доменов возможно как в целом, так и на уровне отдельного когнитивного элемента. При этом в каждом домене AD существуют и простые, не когнитивные узлы, которые, находятся под контролем когнитивных узлов.

10.8. Способы взаимодействия с интернет-вещами

Используют 3 способа взаимодействия с интернет-вещами:

1) прямой доступ;

2) доступ через шлюз;

3) доступ через сервер.

В случае прямого доступа интернет-вещи должны иметь собственный IP-адрес или сетевой псевдоним, по которому к ним можно обратиться из любого клиентского приложения и они должны выполнять функции веб-сервера. Интерфейс с такими вещами обычно выполнен в виде web-ресурса с графическим интерфейсом для управления посредством веб-браузера. Возможно использование специализированного программного обеспечения. В такие веб-устройства должен быть интегрирован прикладной программный интерфейс RESTful API для прямого доступа к ним через Интернет. Соответствующая архитектура WoT показана на рисунке. Каждое устройство имеет собственный IP-адрес, работает как веб-сервер и использует интерфейс RESTful API для реализации веб- приложения, объединяющего данные из нескольких источников в один интегрированный сервис. При таком объединении получается новый уникальный веб-сервис, изначально не предлагаемый ни одним из источников данных.

Прямой доступ к IP-устройствам через API

Недостатки такого способа:

- необходимость иметь фиксированный адрес в сети, что зависит от провайдера услуги связи с Интернетом таких вещей; другим выходом из ситуации является использование сетевого псевдонима IP-адреса (alias), что требует постоянного обращения интернет-вещи к специальному серверу с запросом об обновлении сетевого адреса по псевдониму;
- лимит подключений к устройству – вызвано низким качеством связи интернет-вещей, а также их слабыми вычислительными ресурсами. Такая проблема решается путём включения в состав интернет-вещи высокопроизводительного оборудования и подключения вещей к стабильному источнику связи с Интернетом. Это вызывает необходимость в большем потреблении энергии такой вещью и часто вынуждает делать такие вещи стационарными, питающимися от постоянных источников электроэнергии.

Если интернет-вещи не имеют встроенной поддержки протоколов IP и HTTP, а поддерживают частные протоколы, например Bluetooth или ZigBee, то для взаимодействия с ними можно использовать специальный Интернет-шлюз. Он является веб - сервером, который через интерфейс REST-API взаимодействует с IP-устройствами, и преобразует поступающие от них запросы в запрос к специфическому API устройства, подключённого к этому шлюзу.

Основное преимущество использования Интернет шлюза в том, что он может поддерживать несколько типов устройств, использующих собственные протоколы для связи.

Доступ к интернет-вещам через шлюз является более рациональным способом организации взаимодействия и полностью вытесняет метод прямого доступа в случае необходимости организации связи беспроводных сенсорных сетей или сети Интернет-вещей с глобальной сетью Интернет. Большинство стандартов беспроводных сенсорных сетей не поддерживают протокол IP, используя собственные протоколы взаимодействия. Такая особенность вызывает необходимость наличия устройства для ретрансляции сообщений из сенсорной сети в сеть Интернет для совместимости протоколов. Недостатки такого подхода те же, что и в случае прямого доступа, но распространяются они уже на шлюз.

Третья форма взаимодействия устройств в IoT через сервер подразумевает наличие посредника между интернет-вещами и пользователем и может быть реализована с помощью посреднической платформы данных. Данный подход предполагает наличие централизованного сервера или группы серверов, в основные функции которых входит:

- приём сообщений от интернет-вещей и передача их пользователям;
- хранение принятой информации и еѐ обработка;
- обеспечение пользовательского интерфейса с возможностью двустороннего обмена между пользователем и интернет-вещью.

Основной целью использования посреднических платформ данных является упрощение поиска, контроля, визуализации и обмена данными с разными «вещами». В основе данного подхода лежит централизованное хранилище данных. Каждое устройство, имеющее доступ в сеть Интернет (прямой или через интернет-шлюз), должно быть зарегистрировано в системе, прежде чем оно сможет начать передачу данных. При этом существенно снижаются требования к производительности устройств, так как от них не требуется выполнение функций web-сервера. Набор инструментов, предоставляемых платформами, существенно упрощает разработку новых приложений для взаимодействия и управления объектами WoT.

Такой способ доступа является наиболее рациональным и часто используемым, поскольку позволяет перенести нагрузку обработки запросов пользователей с интернет- вещей на централизованный сервер, тем самым разгружая слабый радиоканал связи интернет-вещей, перенося нагрузку на проводные каналы связи между сервером и пользователями. Метод

централизованного сервера также предоставляет надёжные средства хранения и обработки информации, позволяет интернет-вещам взаимодействовать друг с другом и пользоваться облачными вычислениями. Данный подход может использовать также метод шлюза для соединения локальных беспроводных сетей с сервером.

В Интернете вещей шлюз используется не только для прямой связи интернет-вещей с пользователем, но и при использовании централизованного сервера. Шлюзы служат средством для объединения локальных сетей интернет-вещей с глобальной сетью и связью с сервером управления или конечным пользователем. Поскольку локальные сети интернет-вещей представляют собой в основном беспроводные сенсорные сети, то шлюзы, используемые в Интернете вещей, аналогичны используемым в территориально - распределённых сенсорных сетях. Существует несколько способов организации шлюзов.

Первый способ заключается в использовании компьютеров, которые имеют точку доступа к глобальной сети Интернет, и каждая из объединяемых сетей подключена к такому компьютеру. Основными недостатками такого подхода являются стоимость и громоздкость. Сенсорные сети состоят из миниатюрных датчиков и должны работать автономно, однако территориально-распределѐнная сенсорная сеть при таком подходе теряет свойство автономности, поскольку теперь она зависит от наличия электричества и точки доступа в Интернет на компьютере.

Второй способ заключается в использовании устройства-шлюза, позволяющего соединить сенсорную сеть с ближайшей проводной сетью, имеющей выход в Интернет. Такой проводной сетью, как правило, является Ethernet-сеть. Устройство имеет в себе приёмопередатчик, совместимый с объединяемой сенсорной сетью, порт для подключения к сети Ethernet и микроконтроллер, выполняющий функции преобразования пакетов одной сети в формат другой. Такой способ отличается меньшей стоимостью, чем первый и размер такого устройства небольшой, но оно нуждается в относительно высоком энергопотреблении из-за того, что стандартные проводные сети не рассчитаны на низкий уровень сигнала и потребления энергии. Также такое устройство не может гарантировать наличие точки доступа в ближайшей проводной сети.

Третий способ заключается в использовании устройства-шлюза, которое является полностью автономным и само предоставляет точку доступа к сети Интернет. Это возможно при использовании беспроводных технологий передачи данных. Устройство состоит из одного приёмопередатчика, совместимого с

сенсорной сетью и второго – совместимого с той или иной глобальной беспроводной сетью, в область действия которой попадает сенсорная сеть. Такими сетями могут служить GSM или WiMAX. Использование сети GSM является более экономичным в плане энергопотребления. Существуют также шлюзы, предоставляющие доступ сенсорным сетям к ближайшим сетям Wi-Fi для поиска точки доступа к сети Интернет. Таким образом, если необходимо организовать полностью автономную территориально-распределённую сенсорную сеть, то следует использовать третий способ. Если же сенсорная сеть используется как часть какой-либо крупной проводной сети, то нет необходимости в её полной автономности и возможно использование первых двух способов.

Эволюция Интернета вещей и сопутствующих инфокоммуникационных технологий на ближайшую перспективу показана на рисунке. В настоящее время IoT находит своё практическое воплощение в основном в виде систем M2M, в ближайшей перспективе на базе чипсетов с ультранизким энергопотреблением и миниатюрных RFID- меток будут созданы интегральные сенсорные сети, а затем и когнитивные сети («умные» сети на основе знаний).

10.9. Направления практического применения IoT

На основе Интернета вещей могут быть реализованы всевозможные «умные» (smart) приложения в различных сферах деятельности и жизни человека:

«Умная планета» – человек сможет буквально «держать руку на пульсе» планеты: своевременно реагировать на упущения в планировании хозяйств, загрязнения и другие экологические проблемы, а значит, эффективно распоряжаться невозобновляемыми ресурсами.

«Умный город» – городская инфраструктура и сопутствующие муниципальные услуги, такие как образование, здравоохранение, общественная безопасность, ЖКХ, станут более связанными и эффективными.

«Умный дом» – система будет распознавать конкретные ситуации, происходящие в доме, и реагировать на них соответствующим образом, что обеспечит жильцам безопасность, комфорт и ресурсосбережение.

«Умная энергетика» – будет обеспечена надежная и качественная передача электрической энергии от источника к приемнику в нужное время и в необходимом количестве.

«Умный транспорт» – перемещение пассажиров из одной точки пространства в другую станет удобнее, быстрее и безопаснее.

«Умная медицина» – врачи и пациенты смогут получить удаленный доступ к дорогостоящему медицинскому оборудованию или к электронной истории болезни в любом месте, будет реализована система удаленного мониторинга здоровья, автоматизирована выдача лекарственных препаратов больным и многое другое.

Возможности Интернета вещей в области генерирования, сбора, передачи, анализа и распределения огромного объема данных в мировом масштабе позволят человечеству, в конечном счете, получить новые знания, которые необходимы ему не только лишь для выживания, но и для настоящего процветания на протяжении многих веков. Подтверждение этому – включение Интернета вещей в перечень прорывных технологий в США и в число семи формирующихся национальных стратегических отраслей промышленности в Китае. Единые стандарты только зарождаются, но масштабные проекты в данном направлении – своего рода «Интранеты вещей» – энергично развиваются уже сейчас. Так, американское агентство NASA при поддержке компании Cisco создает систему глобального сбора данных о Земле «Кожа планеты» (Planetary skin). Про «умные» дома наверняка многие слышали, в Японии уже не редкость «умные» заводы, а в США в рамках национальной инициативы оцифровки мегаполисов Connected Urban Development «умнеют» и города. В разных странах существуют конкретные программы и планы практического внедрения интернета вещей. Так, Евросоюз развивает IoT по специальной программе, включающей 14 направлений. Согласно китайской государственной программе в ближайшие годы планируется реализовать 149 проектов. Не менее активно ведутся разработки в Англии, Австралии, Японии, Южной Корее и других странах.

Глава 11. Беспроводные сенсорные сети WSN

11.1. Основные понятия сенсорных сетей.

Определим основные понятия сенсорых сетей [16].

Сенсор (англ., sensor) – устройство, которое воспринимает контролируемое воздействие (свет, давление, температуру и т. п.), измеряет его количественные и качественные характеристики и преобразует данные измерения в сигнал. Сигнал может быть электрический, химический или другого типа.

Датчик (англ., transducer) – устройство, которое используется для преобразования одного вида энергии в другой. Следовательно, сенсор также является датчиком, который преобразует физическую информацию в

электрическую, которая может быть передана вычислительной системе или контроллеру для обработки.

Актуатор (англ., actuator) – исполнительное устройство, которое реагирует на поступивший сигнал для изменения состояния управляемого объекта. В актуаторе происходит преобразование типов энергии, например, электрическая энергия, либо энергия сжатого (разреженного) воздуха (жидкости, твёрдого тела) преобразуется в механическую.

Сенсорный узел (англ., sensor node) – это устройство, которое состоит, по крайней мере, из одного сенсора (может также включать один или нескольких актуаторов), и имеет вычислительные и проводные или беспроводные сетевые возможности.

Сенсорная сеть – система распределённых сенсорных узлов, взаимодействующих между собой, а также с другими сетями для запросов, обработки, передачи и предоставления информации, полученной от объектов реального физического мира с целью выработки ответной реакции на данную информацию.

Таким образом, сенсорная сеть включает в себя как минимум сенсоры, актуаторы и коммуникационные узлы. Основной областью применения сенсорной сети является контроль и мониторинг измеряемых параметров физических сред и объектов и в некоторых случаях – управление этими объектами (активация в них определённых процессов).

Примеры сенсорных сетей:

всепроникающие сенсорные сети (USN – Ubiquitous Sensor Network);

сети для транспортных средств (VANET – Vehicular Ad Hoc Network);

муниципальные сети (HANET – Home Ad hoc Network);

медицинские сети (MBAN(S) – Medicine Body Area Network (services)) и др.

Основные действия, выполняемые при работе сенсорных сетей, представлены на рис. 11.1. (пунктиром показаны необязательные процессы).

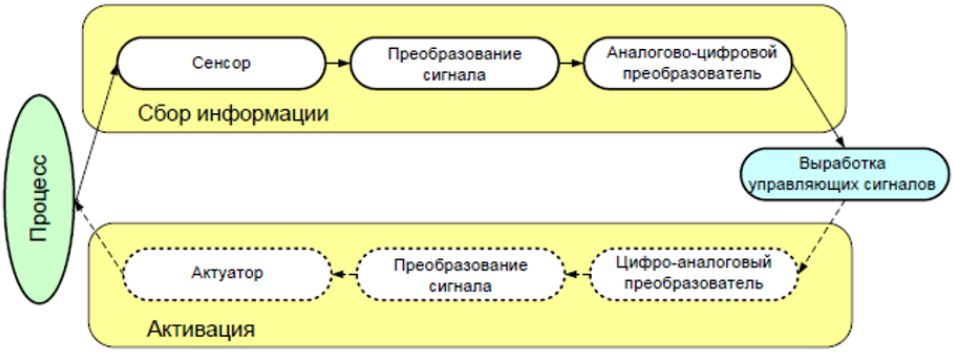

Рис. 11.1. Основные действия в сенсорных сетях

Область покрытия сенсорной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счёт способности ретрансляции сообщений от одного элемента сети к другому. Сенсорная сеть обладает способностью к ретрансляции сообщений по цепочке от одного узла к другому, что позволяет в случае выхода из строя одного из узлов организовать передачу информации через соседние узлы без потери качества.

Самоорганизующаяся (лат. ad hoc – «по месту») сеть связи – сеть, в которой число узлов является случайной величиной во времени и может изменяться от 0 до некоторого максимального значения. Взаимосвязи между узлами в такой сети также случайны во времени и образуются для передачи информации между подобными узлами и во внешнюю сеть связи.

Беспроводная сенсорная сеть (БСС) (англ. WSN – Wireless Sensor Network) – распределённая, самоорганизующаяся сенсорная сеть множества сенсоров и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканалов.

Достоинства беспроводных сенсорных сетей:

- способность к самовосстановлению и самоорганизации;
- способность передавать информацию на значительные расстояния при малой мощности передатчиков (путём ретрансляции);
- низкая стоимость узлов и их малый размер;
- низкое энергопотребление и возможность электропитания от автономных источников;
- простота установки, отсутствие необходимости в прокладке кабелей (благодаря беспроводной технологии и питанию от батарей);
- возможность установки таких сетей на уже существующий и эксплуатирующийся объект без проведения дополнительных работ;
- низкая стоимость технического обслуживания.

На практике в наибольшей степени распространены беспроводные сенсорные сети.

11.2. Базовая архитектура сенсорной сети

Исследовательская группа по сенсорным сетям SGSN (Study Group on Sensor Networks) объединѐнного технического комитета №1 ISO/IEC JTC 1 (Joint Technical Committee 1) определила базовую архитектуру сенсорной сети и ее основные интерфейсы. Как видно из рис. 11.2, сенсорный узел состоит из:

- аппаратного обеспечения;
- базового программного обеспечения;

- прикладного программного обеспечения.

В составе архитектуры определены четыре базовых интерфейса:

1. Интерфейс между базовым и прикладным программным обеспечением сенсорного узла.

2. Интерфейс между базовым программным обеспечением и аппаратным обеспечением сенсорного узла (сенсоры, актуаторы и/или коммуникационный узел и т.д.).

3. Беспроводные или проводные интерфейсы между узлами в сенсорной сети.

4. Интерфейс между сенсорной сетью и внешней средой (провайдеры услуг, пользователи).

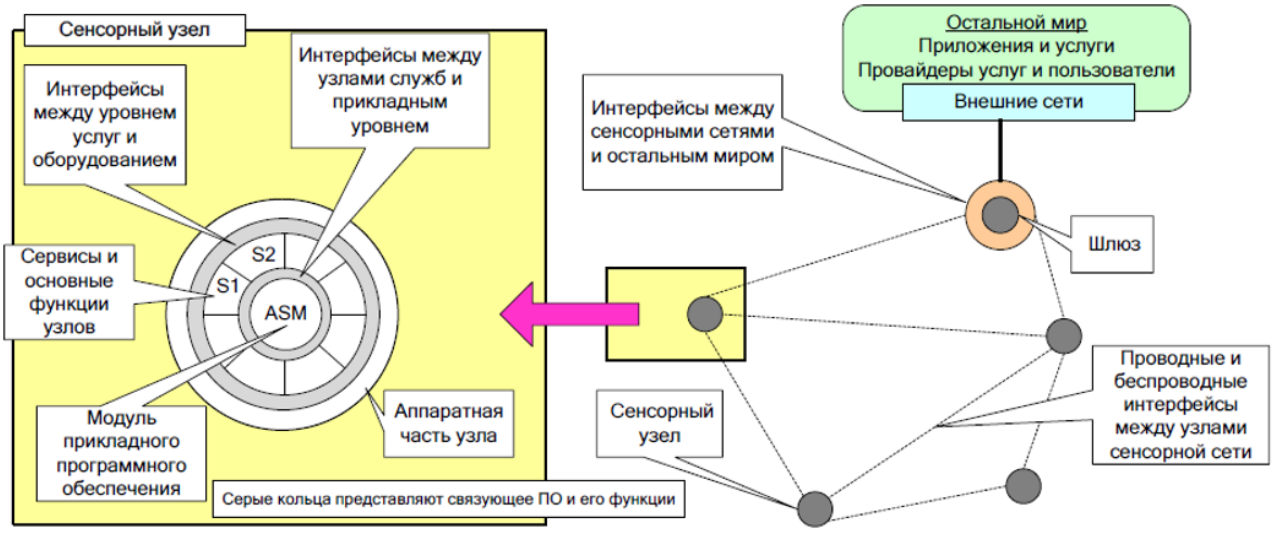

Рис. 11.2. Архитектура сенсорного узла

11.3. Узлы беспроводной сенсорной сети

БСС состоят из миниатюрных вычислительных устройств, снабжённых датчиками, актуаторами и трансиверами (приемопередатчиками), работающими в заданном диапазоне радиочастот. Такой узел БСС называют *сенсорным узлом* или просто *сенсором*. Сенсорный узел представляет собой плату размером обычно не более одного кубического дюйма. На плате размещаются процессор, память - флэш и оперативная, цифро-аналоговые и аналого- цифровые преобразователи, радиочастотный приемопередатчик, источник питания и различные датчики, актуаторы. Таким образом, аппаратная часть узла беспроводной сети может быть разделена на следующие четыре подсистемы:

1) коммуникационная подсистема – обеспечивает беспроводные соединения с другими узлами в сенсорной сети и содержит радио приемопередатчик;

2) вычислительная подсистема – обеспечивает обработку данных и функциональность узла и состоящая из микроконтроллера MCU, в состав которого входят процессор, оперативная SRAM, энергонезависимая EEPROM и флэш-память, аналого-цифровой преобразователь ADC, таймер, порты ввода/вывода;

3) сенсорная подсистема – обеспечивает соединение сенсорного беспроводного узла с внешним миром, в состав которой могут входить аналоговые и цифровые сенсоры, актуаторы;

4) подсистема электропитания – обеспечивает энергетическое снабжение всех элементов беспроводного сенсорного узла и включает устройства генерации и аккумулирования энергии, а также регулировки напряжения.

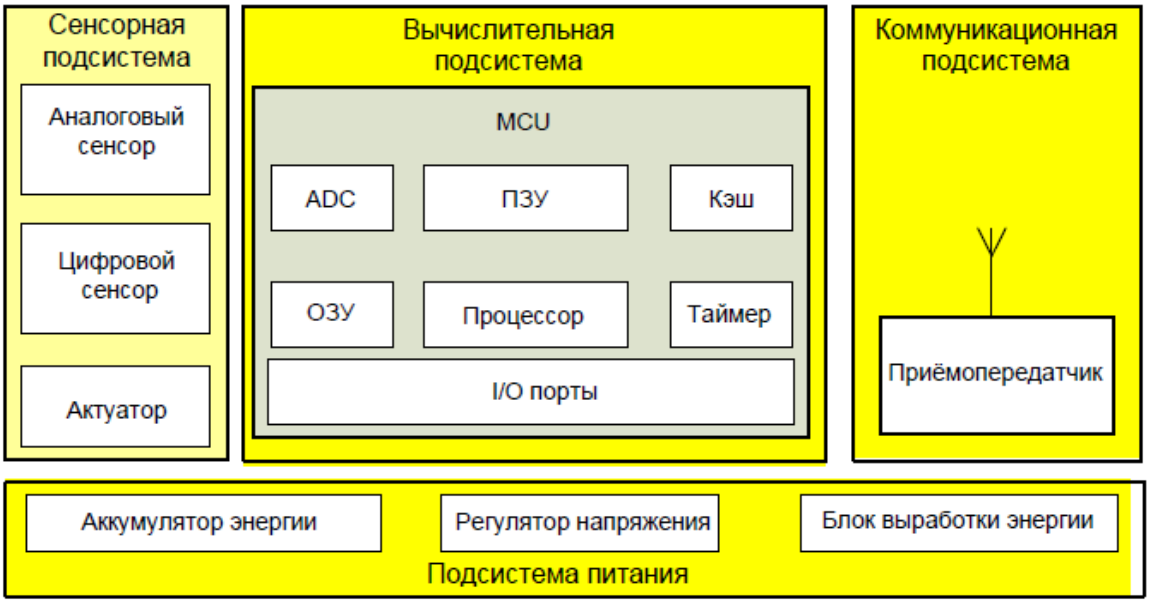

Рис. 11.3. Структура сенсорного узла

Датчики могут быть самыми разнообразными. Чаще других используются датчики температуры, давления, влажности, освещенности, вибрации, местоположения, реже – магнитоэлектрические, химические (например, измеряющие содержание CO, CO_2, уровень радиационного фона), звуковые и некоторые другие. Набор применяемых датчиков зависит от функций, выполняемых беспроводными сенсорными сетями.

Преобразованный сигнал трансформируется при помощи аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в цифровой сигнал. В итоге сигнал получается в цифровой форме и он готов к дальнейшей обработке в процессоре и хранению в памяти микроконтроллера. При наличии исполнительных

механизмов возможна также передача управляющих воздействий от узлов сети к внешней среде через актуатор. Питание сенсорного узла осуществляется обычно от небольшой батареи. Помимо размера, есть и другие жесткие ограничения для узлов БСС. Они должны:

потреблять очень мало энергии;

работать с большим количеством узлов на малых расстояниях;

иметь низкую стоимость производства;

быть автономными и работать без обслуживания;

адаптироваться к окружающей среде.

На рис. 11.4. показан внешний вид сенсорных узлов.

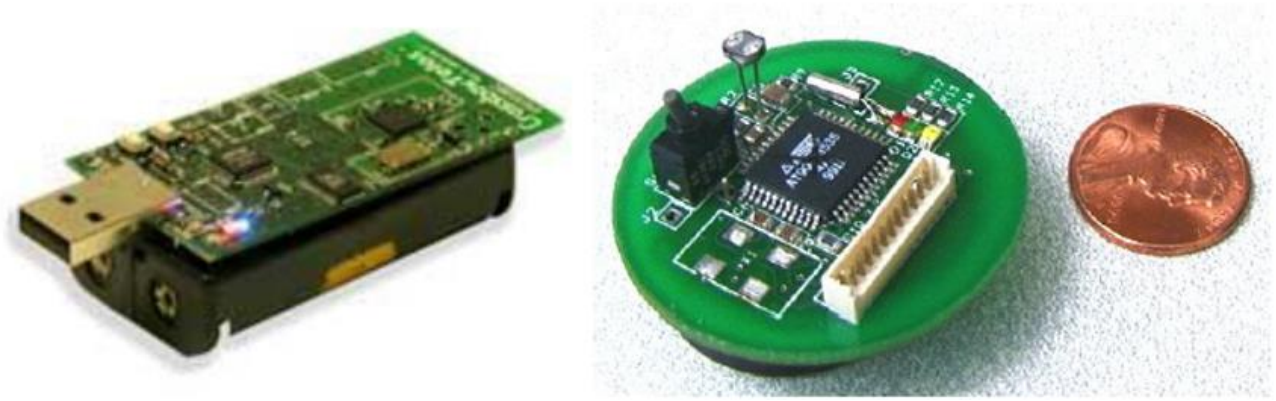

Рис. 11.4. Внашний вид сенсорных узлов

Блок – схема аппаратной части сенсорного узла показана на рис. 11.5.

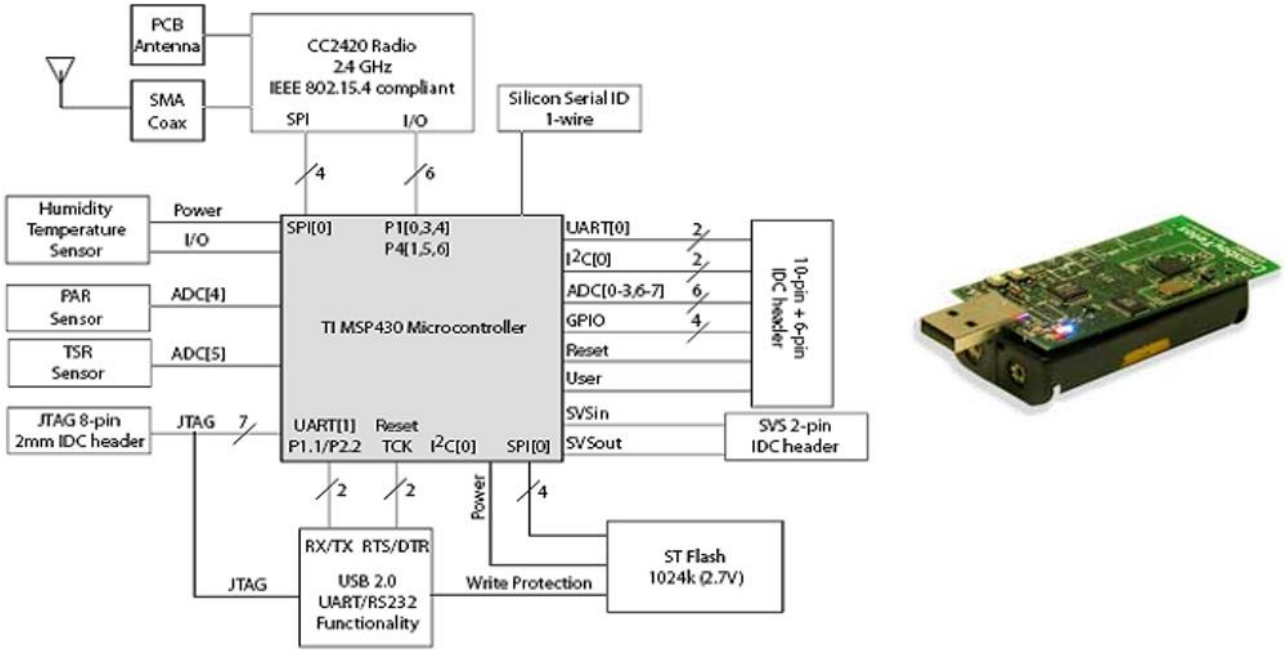

Рис. 11.5. Блок – схема аппаратной части сенсорного узла

Для выполнения функций на каждый сенсорный узел устанавливается специализированная операционная система (ОС). Примером широко известной операционной системы для сенсорных узлов является разработанная в Университете Беркли система с открытым кодом TinyOS – это управляемая событиями операционная система реального времени, рассчитанная на работу в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Эта ОС позволяет сенсорам автоматически устанавливать связи с соседями и формировать сенсорную сеть заданной топологии.

Поскольку одной из важнейших функций сенсоров является автоматический выбор схемы организации сети и маршрутов передачи данных, беспроводные сенсорные сети по существу являются самонастраиваемыми. Чаще всего сенсорный узел должен иметь возможность самостоятельно определить свое местоположение, по крайней мере, по отношению к тому другому сенсору, которому он будет передавать данные. То есть сначала происходит идентификация всех сенсоров, а затем уже формируется схема маршрутизации. Сенсорные узлы могут закрепляться стационарно, а также иметь относительную мобильность.

В сенсорной сети узлы обычно общаются посредством беспроводной связи. Связь может осуществляться посредством радио, инфракрасного излучения (ИК-порта) или оптических сигналов. Одним из наиболее распространенных вариантов радиосвязи является использование полос частот для промышленных, научных и медицинских целей ISM (Industrial, Scientific and Medical), которые определены Сектором радиосвязи Международного союза электросвязи ITU-R и доступны без лицензий в большинстве стран. Спектр используемых частот весьма широк – от 6,7 МГц до 246 ГГц.

11.4. Протоколы и технологии передачи данных в БСС

По размерам физической зоны размещения БСС относятся к классу беспроводных персональных вычислительных сетей WPAN (Wireless Personal Area Networks). Важнейшим фактором при работе беспроводных сенсорных сетей является ограниченная емкость батарей, устанавливаемых на сенсорные узлы. Следует учитывать, что заменить батареи чаще всего невозможно. В связи с этим необходимо выполнять на сенсорах только простейшую первичную обработку, ориентированную на уменьшение объема передаваемой информации, и, что самое главное, минимизировать число циклов приема и передачи данных. Для решения этой задачи разработаны специальные коммуникационные протоколы.

Наиболее известными из протоколов БСС являются протоколы альянса ZigBee,который описывает физический уровень и уровень доступа к среде для беспроводных сетей передачи данных на небольшие расстояния (до 75 м) с низким энергопотреблением, но с высокой степенью надежности.

На данный момент альянс ZigBee разработал единственный в этой области стандарт, который подкреплен наличием производства полностью совместимых аппаратных и программных продуктов. Протоколы ZigBee позволяют создавать самоорганизующиеся и самовосстанавливающиеся сенсорные сети. Устройства ZigBee сети благодаря встроенному программному обеспечению обладают способностью при включении питания сами находить друг друга и формировать сеть, а в случае выхода из строя какого-либо из узлов могут устанавливать новые маршруты для передачи сообщений.

Дальность уверенной передачи радиосигнала узлов ZigBee сети зависит от многих параметров (в первую очередь – от чувствительности приемника и мощности передатчика), но в среднем расстояние между узлами сети Zigbee на открытом пространстве составляет сотни, а в помещении – десятки метров.

Специально для реализации БСС имеется версия спецификации ядра беспроводной технологии Bluetooth v.4.0, получившая название Bluetooth с низким энергопотреблением (Bluetooth low energy или Bluetooth LE или BLE). Устройства, использующие BLE, могут работать более года на одной миниатюрной батарейке типа таблетка без подзарядки.

Для реализации БСС может быть использован также набор стандартов связи IEEE 802.11 (более известен под торговой маркой WiFi). Беспроводные сети WiFi изначально были задуманы как способ замены проводных вычислительных сетей. Однако, относительно высокие скорости передачи (до 108 Мбит/с) делают перспективным возможное применение в тех самоорганизующихся сенсорных сетях, в которых необходимо передавать большие объемы информации в реальном времени (например, видеосигнала).

11.5. Типы узлов БСС

Типовая архитектура БСС включает три типа узлов (рис. 11.6).

1. *Координатор* – осуществляет глобальную координацию, организацию и установку параметров сети, является наиболее сложным устройством БСС, требует наибольший объѐм памяти и наибольшую мощность источника питания. В одной сети должен присутствовать только один координатор. Из координатора осуществляется выход во внешнюю сеть (он реализует функцию шлюза - gateway). Часто координатор называют базовой станцией (БС).

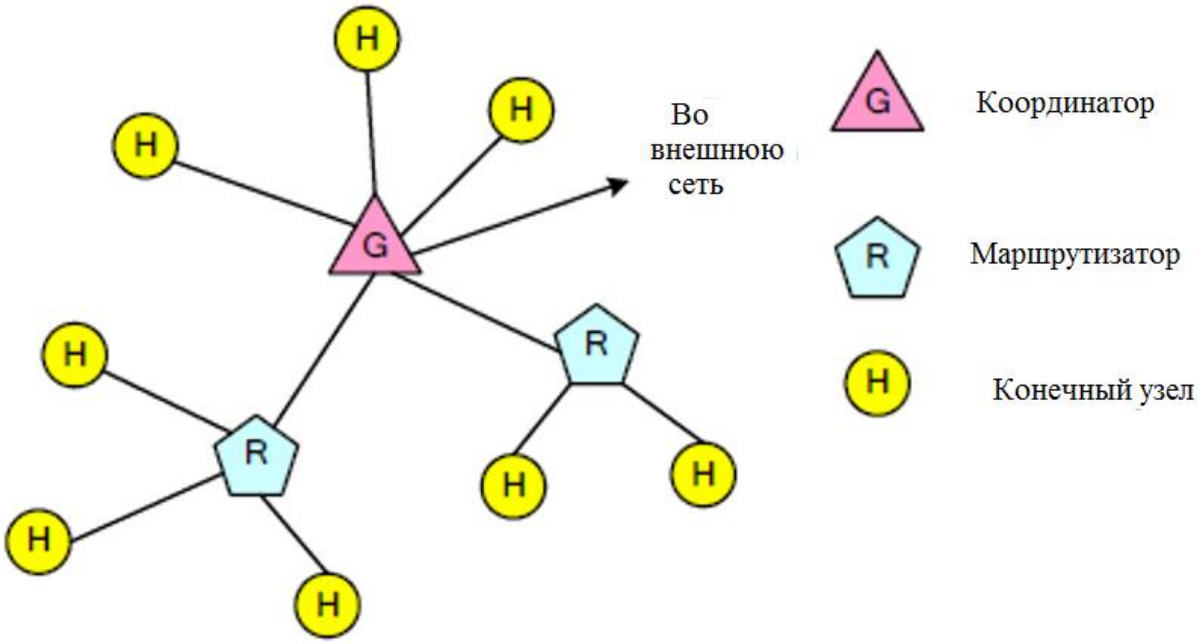

Рис. 11.6. Типы узлов сенсорной сети

Координатор выполняет следующие функции:

- определяет незадействованные каналы из перечня каналов, доступных для организации сети и определяемых разработчиком и организует сеть;
- передает сетевые сигнальные пакеты с информацией о существующей сети;
- управляет сетевыми подчиненными устройствами, устанавливает параметры сети - определяет максимальную глубину вложенных подсетей, число сетевых маршрутизаторов и число подчиненных устройств;
- обеспечивает маршрутизацию информации между подчиненными устройствами;
- большую часть времени находится в режиме приема;
- обеспечивает организацию таблиц маршрутизации;
- позволяет маршрутизаторам и конечным устройствам входить в сеть.

2. *Маршрутизатор* – принимает, буферизирует и передает данные от других узлов БСС, а также определяет направление передачи.

Маршрутизатор выполняет следующие функции:

- определяет активные каналы, подключается к сети и позволяет оконечным устройствам входить в сеть – использует дополнительные, определенные приложением, списки активных каналов;
- ретранслирует сигнальные сетевые пакеты с параметрами сети от координатора;
- администрирует сетевые адреса подключенных к маршрутизатору подчиненных устройств;
- поддерживает следующие классы устройств маршрутизации: устройство с таблицей маршрутизации и с функцией древовидной маршрутизации, устройство только с функцией древовидной маршрутизации, поддержка функции аварийной древовидной маршрутизации;
- поддерживает два режима работы устройств: без перехода в «спящий режим» и с переходом в «спящий» режим в периоды, определяемые координатором сети и параметрами сетевой синхронизации;
- поддерживает функции маршрутизации многоячейковых сетей: создает таблицы соседних сетевых узлов с параметром качества связи с каждым из них, создает таблицы сетевой маршрутизации, ретранслирует пакеты запроса и подтверждения определения маршрутов между устройствами;
- поддерживает функции маршрутизации по древовидному принципу – транслирует сообщения вверх и вниз по иерархической древовидной структуре ветви в зависимости от адреса получателя сообщения.

3. *Конечное (оконечное) устройство (сенсорный узел)* – выполняет только прикладные действия (сбор информации и управление удаленным объектом) и не осуществляет ретрансляцию данных.

Сенсорный узел имеет следующие особенности:

- всегда ищет и пытается войти в существующую сеть;
- использует дополнительные, определенные приложением, списки активных каналов и сигнальные пакеты синхронизации существующей сети для определения параметров сети и маршрутизатора для входа в сеть;
- питается от автономного источника (батареи);
- из пакетов синхронизации определяет наличие данных от координатора;
- запрашивает данные от координатора;

- способен находиться длительное время в «спящем» режиме (до 99,99% от всего времени работы).

По выполняемым наборам функций все узлы БСС можно отнести к двум видам:

1. *Устройство с полным набором функций FFD (Fully Function Device)*:

поддержка стандарта IEEE 802.15.4;

дополнительная память и энергопотребление позволяют выполнять роль координатора сети;

поддержка всех типов топологий («точка-точка», «звезда», «дерево», «ячеистая сеть»);

способность выполнять роль координатора сети;

способность обращаться к другим устройствам в сети.

2. *Устройство с ограниченным набором функций RFD* (Reduced Function Device):

поддерживает ограниченный набор функций стандарта IEEE 802.15.4;

поддержка топологий «точка-точка», «звезда»;

не выполняет функции координатора;

обращается к координатору сети и маршрутизатору.

Координаторы и маршрутизаторы всегда относятся к устройствами FFD, оконечные устройства могут быть FFD или RFD.

11.6. Типовые архитектуры и топологии БСС

Выделяют два типа архитектуры беспроводных сенсорных сетей: однородные (одноранговые) и иерархические (кластерные). Однородность сети подразумевает, что все узлы выполняют одинаковые функции при сборе, обработке и передаче информации. Этот подход позволяет добиться оптимальной маршрутизации. Выделяют два типа архитектуры беспроводных сенсорных сетей: однородные (одноранговые) и иерархические (кластерные). Однородность сети подразумевает, что все узлы выполняют одинаковые функции при сборе, обработке и передаче информации. Этот подход позволяет добиться оптимальной маршрутизации. Однако при такой организации сети формирование связей между узлами происходит спонтанно, что ведѐт к столкновениям пакетов и возникновению задержек, связанным с выходом из спящего режима узлов, находящихся на выбранном пути передачи.

Альтернативным подходом является иерархическая (древовидная) маршрутизация. Она основана на делении сети на области, называемые кластерами. Кластер образуют маршрутизатор и конечные узлы, у которых он

запрашивает сенсорные данные. Остальные узлы кластера осуществляют только сбор данных и передачу их маршрутизатору.

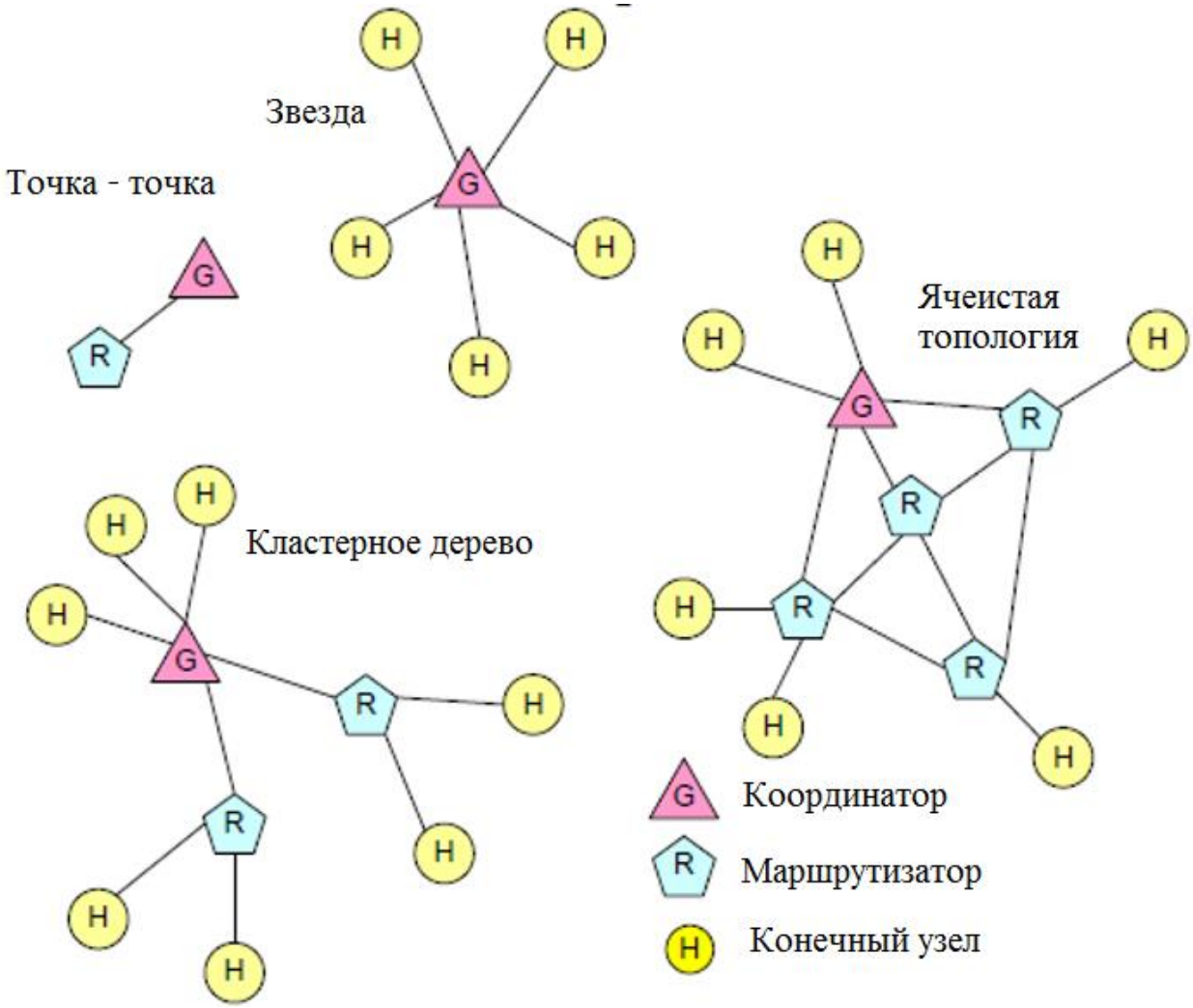

Рис. 11.7. Топологические структуры сенсорной сети

Агрегирование данных происходит на маршрутизаторах, и, во- вторых, пересылка агрегированных данных далее может производиться только маршрутизаторами. Таким образом, минимизируются задержки передачи, поскольку маршрутизаторы доступны всегда.

Одноранговые сети могут формировать произвольные топологические структуры (точка-точка, звезда), ограниченные только дистанцией между каждой парой узлов. Ячеистая топология (Mesh Topology) – базовая полносвязная топология, в которой каждый маршрутизатор сети соединяется с несколькими другими маршрутизаторами этой же сети. Характеризуется высокой отказоустойчивостью, но и более сложной настройкой.

11.7. Режимы работы БСС

Сбор данных беспроводной сенсорной сетью может производиться различными способами в зависимости от целевого назначения конкретной сети.

Принимая во внимание различные способы использования сетевых ресурсов, беспроводные сенсорные сети можно разделить на классы в зависимости от вида их функционирования и типа целевого приложения:

1. Проактивные сети. Узлы такой сети периодически включают свои сенсоры и передатчики, снимают показания и передают их на базовую станцию. Таким образом, они делают "моментальную фотографию" своего окружения с некоторой периодичностью и используются обычно для приложений, требующих регулярного мониторинга некоторых значений.

2. Реактивные сети. Узлы реактивных сетей с некоторой периодичностью снимают показания, однако не передают их, если полученные данные попадают в определенную область нормальных показаний. В то же время сведения о неожиданных и резких изменениях в показаниях датчиков или их выходе за диапазон нормальных значений незамедлительно передаются на базовую станцию. Этот вид сети предназначен для работы с приложениями реального времени.

3. Гибридные сети. Это комбинация двух вышеперечисленных типов, где сенсорные узлы не только периодически отправляют снятые данные, но и реагируют на резкие изменения в значениях.

11.8. Протоколы маршрутизации в БСС

Для определения маршрута передачи информации в БСС от конечного узла до узла-координатора, а также между оконечными узлами, используются специальные протоколы маршрутизации.

В зависимости от используемого режима работы сети, обуславливающего необходимость передачи информации от узлов, все протоколы маршрутизации можно разделить на проактивные (все пути определяются заранее, до того как они будут нужны), реактивные (пути определяются по требованию) и гибридные (комбинация первых двух). Протоколы, учитывающие структуры сети, делятся на:

1) протоколы одноуровневой (плоской) (flat-based) маршрутизации - все узлы БСС имеют одинаковую функциональность, примеры: SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation), Direct Diffusion, Rumor Routing;

2) протоколы иерархической (hierarchical-based) маршрутизации – узлы сети выполняют разные функции, они могут быть и физически разными, примеры: LEACH (Low- Energy Adaptive Clustering Hierarchy), PEGASIS (Power-Efficient GAthering in Sensor Information Systems), TEEN и APTEEN (Threshold-sensitive Energy Efficient Protocols), SOP (Self-Organization Protocol);

3) протоколы маршрутизации на основе информация о местонахождении узла (location-based), примеры протоколов: GAF (Geographic Adaptive Fidelity), GEAR (Geographic and Energy Aware Routing).

Работа протокола маршрутизации может основываться на различных принципах:

1) протоколы маршрутизации со многими маршрутами (multipath routing) – используются несколько маршрутов от источника до точки назначения, что повышает надежность соединения, но увеличивает накладные расходы и энергозатраты;

2) протоколы маршрутизации «по запросу» (query-based) – узел посылает запрос на данные в сеть и другой узел, который имеет запрашиваемые данные, отвечает на запрос;

3) протоколы маршрутизации, основанные на «переговорах» (negotiation routing) между узлами;

4) протоколы, учитывающие качество обслуживания (QoS-based), что позволяет обеспечить определенный уровень услуг в сети.

Все протоколы маршрутизации также можно разделить на два вида – в одних инициатором соединения является источник информации, а в других – получатель.

11.9. Мобильные БСС

В последние годы активно внедряются беспроводные децентрализованные самоорганизующиеся сети, состоящие из мобильных устройств MANET (Mobile Ad hoc NETwork). Каждое устройство такой сети может независимо передвигаться в любых направлениях, и, как следствие, часто разрывать и устанавливать соединения с соседями.

Самоорганизующиеся сети MANET обладают следующими преимуществами над беспроводными сетями традиционной архитектуры:

- возможность передачи данных на большие расстояния без увеличения мощности передатчика;
- устойчивость к изменениям в инфраструктуре сети;
- возможность быстрой реконфигурации в условиях неблагоприятной помеховой обстановки;
- простота и высокая скорость развертывания сети.

Однако мобильность узлов ведет к дополнительному повышению динамичности топологии сети и, следовательно, к возможности обрыва связи из-

за помех или включения/выключения узла добавляется вероятность его перемещения.

Для маршрутизации на сетевом уровне в MANET используются специальные протоколы, ориентированные на динамические сети (например, поддерживать маршрут, если уехал промежуточный узел, и маршрут разрушился):

1) реактивные - находят маршрут в том случае, когда нужно передать пакет и для него нет известного пути и пытаются изменить этот путь, если произошла ошибка, примеры: специализированный протокол вектора расстояния по запросу AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector), протокол динамической маршрутизации источника DSR (Dynamic Source Routing).

2) проактивные (превентивные) - находят маршрут заранее для всех возможных пар источник-приемник и периодически обновляют информацию о маршрутизации для поддержки путей, примеры: протокол оптимизированной маршрутизации состояния соединения OLSR (Optimized Link-State Routing).

Для автомобильной версии MANET имеет смысл использовать реактивные протоколы.

Сети MANET включают Ad hoc сети для транспортных средств VANET (Vehicular Ad hoc Network), в которых каждый участвующий автомобиль превращается в беспроводной маршрутизатор или узел, позволяющий автомобилям подключаться друг к другу на расстоянии и создавать мобильную сеть. Частотный диапазон для США включает спектр от 5,859 до 5,925 ГГц, для Европы рекомендуется использование двух поддиапазонов шириной по 10 МГц каждый: 5,865 — 5,875 ГГц и 5,885 — 5,895 ГГц.

Архитектура сети VANET предполагает взаимодействие автомобиля, как с другими автомобилями, так и с придорожной сетью:

1. Обеспечение безопасности - помощь водителю (навигация, предотвращение столкновений и смена полос), информирование (об ограничении скорости или о зоне ремонтных работ), предупреждение (послеаварийные, о препятствиях или состоянии дороги).

2. Повышение эффективности управления автомобильным трафиком - сокращение длительности поездки, потребления топлива.

3. Повышение уровня комфорта пассажиров и водителей.

11.10. Проблемы реализации БСС

Ограничение по энергопотреблению связанно с тем, что сенсоры работают от источника питания с ограниченным лимитом энергии (обычно батарейка).

Сенсорные сети часто должны работать в удаленных областях и в жестких условиях, без возможности их *обслуживания и ремонта*.

Выбор беспроводного соединения налагает ряд ограничений на реализацию сенсорных сетей. Например, затухание сигнала ограничивает расстояние передачи информации. Так связь между мощностями сигналов переданной и принятой информацией описывается законом обратного квадрата расстояния.

Задача уменьшения энергопотребления может решаться за счет оптимизации конструкции и режимов работы аналоговых и цифровых схем узлов, а также за счет извлечения энергии, необходимой для работы этих схем, из окружающей среды.

Можно выделить три типичных значения потребляемой мощности:

1) 1-5 мкВт: потребление энергии в «спящем» режиме;

2) 500 мкВт – 1 мВт: потребление энергии в активном режиме;

3) 50 мВт: пик передачи энергии.

11.11. БСС и Интернет вещей

БСС целесообразно применять в следующих предметных областях Интернета вещей:

- мониторинг телекоммуникационной инфраструктуры сетей;
- мониторинг транспортных магистралей (железных дорог, метрополитена и др.), нефте- и газопроводов, инженерных сетей энерго- и теплоснабжения;
- контроль и анализ транспортных грузопотоков;
- экологический, биологический и медицинский мониторинг;
- автоматизация систем жизнеобеспечения в системах класса ―Умный дом‖;
- выявление и предупреждение чрезвычайных ситуаций (мониторинг сейсмической активности и вулканической деятельности, анализ атмосферы и прогноз погоды для своевременного предупреждения о наступлении стихийных бедствий) и другие.

11.12. Классификация технологий передачи данных в IoT

IoT использует большое количество вариантов сетей связи для передачи данных, начиная от сети на теле человека BAN (Body Area Network), которая работает на расстоянии в несколько десятков сантиметров, вплоть до всемирной сети интернет. Коммуникации малой дальности используют такие технологии, как RFID, NFC, Bluetooth, Wi-Fi и др. Коммуникации большого радиуса действия реализуются на базе различных сотовых сетей (2G/3G/4G), сетей беспроводного широкополосного доступа WiMAX, сетей позиционирования GPS/ГЛОНАСС и др.

По территории охвата телекоммуникационные сети, используемые в Интернете вещей, можно разделить на 4 основных типа:

1. Персональная сеть PAN (Personal Area Network) – это сеть, построенная «вокруг» человека. Данные сети призваны объединять все персональные устройства пользователя (телефоны, смартфоны, карманные персональные компьютеры, ноутбуки, гарнитуры и др.). Применительно к IoT такая сеть строится «вокруг» устройства («вещи»).

2. Локальная сеть LAN (Local Area Network) – сеть, покрывающая обычно относительно небольшую территорию или небольшую группу зданий (дом, офис, фирму). К локальным сетям можно отнести и сеть контроллеров CAN (Controller Area Network) – промышленную сеть, ориентированную, прежде всего, на объединение в единую сеть различных исполнительных устройств и датчиков в рамках отдельного предприятия.

3. Городская сеть MAN (Metropolitan Area Network) – объединяет отдельных пользователей и локальные сети в пределах города, представляет собой сеть по размерам большую, чем LAN, но меньшую, чем WAN.

4. Глобальная сеть WAN (Wide Area Network) – связывает пользователей и сети, рассредоточенные на расстоянии сотен и тысяч километров.

Беспроводные сети малого радиуса действия, используемые в IoT, можно разделить на три вида:

1. Беспроводные персональные сети WPAN (Wireless Personal Area Network).

Применяются для связи различных устройств, включая компьютерную, бытовую и оргтехнику, средства связи и т.д.

Для реализации беспроводных персональных сетей WPAN большой емкости с низким энергопотреблением и низкой скоростью передачи данных предназначен Стандарт IEEE Std 802.15.4.

2. Беспроводные сенсорные сети WSN (Wireless Sensor Network).

Распределѐнные, самоорганизующиеся сети множества датчиков (сенсоров) исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. Область покрытия подобных сетей может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счѐт способности ретрансляции сообщений от одного элемента к другому.

3. Малые локальные сети TAN (Tiny Area Network). Вычислительные сети, развертываемые в пределах небольшого офиса или отдельного жилища. Их часто называют домашними сетями.

Беспроводные сенсорные сети WSN и малые локальные сети TAN часто используют Стандарт ZigBee.

Название спецификации ZigBee произошло от Zig-zag – зигзаг и Bee – пчела. Подразумевалось, что топология сети будет напоминать зигзагообразную траекторию полета пчелы от цветка к цветку. Спецификация ZigBee ориентирована на приложения, требующие гарантированной безопасной передачи данных при относительно небольших скоростях и возможности длительной работы сетевых устройств от автономных источников питания (батарей). Она обеспечивает невысокое потребление энергии и передачу данных со скоростью до 250 Кбит/с на расстояние до 75 метров в условиях прямой видимости.

Стандарт ZigBee включает описание сетевых процессов управления, совместимости и профилей устройств, а также информационной безопасности. На сетевом уровне в ZigBee определены механизмы маршрутизации и формирования логической топологии сети.

В области технологий беспроводных сенсорных сетей ZigBee является стандартом, в наибольшей степени подкреплѐнным представленными на рынке полностью совместимыми аппаратными и программными средствами. Кроме того протоколы ZigBee позволяют сетевым устройствам находиться в спящем режиме большую часть времени, что существенно увеличивает ресурс работы узлов при питании от батарейных источников.

Все устройства стандарта ZigBee в зависимости от уровня сложности подразделяются на три класса, высший из которых – координатор – управляет процессом формирования сети, хранит данные о еѐ топологии и служит шлюзом для передачи данных собираемых от всех сенсоров БСС для их дальнейшей обработки. В сети, как правило, используется только один PAN-координатор. Среднее по сложности устройство – маршрутизатор – способно ретранслировать сообщения, поддерживать все топологии сети, а также выполнять функции координатора кластера. И, наконец, самое простой узел – оконечное устройство – способен лишь передавать данные ближайшему маршрутизатору.

Стандарт ZigBee поддерживает сеть с кластерной архитектурой, сформированной из обычных узлов, объединѐнных в кластеры посредством маршрутизаторов. Маршрутизаторы кластеров запрашивают сенсорные данные

от устройств и, ретранслируя их друг другу, передают координатору, который обычно имеет связь с внешней IP-сетью, куда и отправляет информацию для накопления и окончательной обработки.

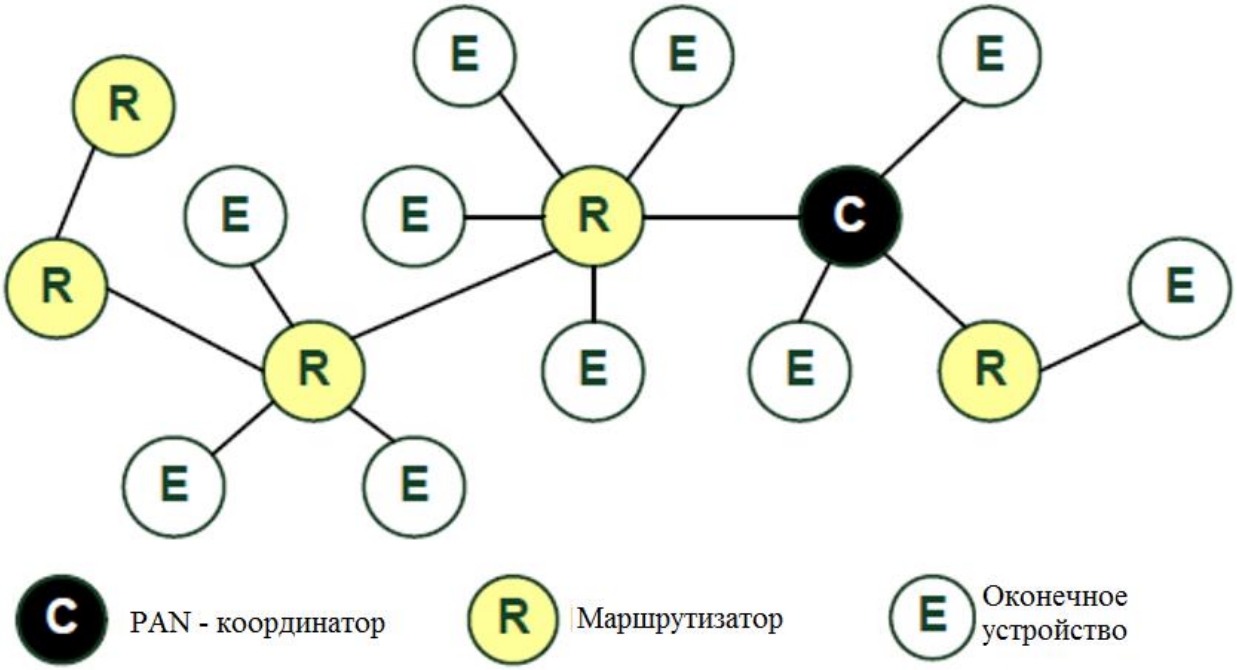

Рис. 11.8. Типовая типология сети ZigBee

Сеть ZigBee является самоорганизующейся, то есть все узлы способны самостоятельно определять и корректировать маршруты доставки данных. Данные передаются с помощью радиопередатчиков от одних узлов к другим по цепочке, и в итоге ближайшие к шлюзу узлы сбрасывают всю аккумулированную информацию на шлюз. Эта информация включает данные, считываемые с сенсорных датчиков, а также данные о состоянии устройств и результатах процесса передачи информации. В случае выхода части устройств из строя, работа сенсорной сети после реконфигурации должна продолжиться. Беспроводные узлы функционируют под управлением специального приложения. Обычно все узлы сенсорной сети используют одну и ту же управляющую программу, обеспечивающую их функциональность и выполнение сетевых протоколов.

Концерн RF4CE (Radio Frequency for Consumer Electronics) совместно с альянсом ZigBee разработал стандартизированную спецификацию ZigBee RF4CE, предназначенную для использования в бытовых дистанционно управляемых аудио/видео устройствах, таких как телевизоры, телеприставки и игровые консоли. Она имеет ряд преимуществ по сравнению с существующими техническими решениями для дистанционного управления, включая управление

работой в зоне непрямой видимости, функциональность манипулятора типа "мышь" и клавиатуры, управление с распознаванием жестов и сенсорным вводом, двусторонняя связь, более длительное время работы от аккумулятора.

11.13. Радиочастотная идентификация

Радиочастотная идентификация RFID (Radio Frequency IDentification) – общий термин, используемый для обозначения систем, которые беспроводным путём посредством радиоволн считывают идентификационный номер (в форме уникального серийного номера) какого-либо предмета или человека. RFID относится к обширной области технологий автоматической идентификации (Auto-ID), которые включают в себя также штриховые коды, оптические считыватели и некоторые биометрические технологии, как например, сканирование сетчатки глаза.

Система RFID же сконструирована таким образом, что дает возможность считать и передавать данные в компьютерную систему без участия человека и в реальном масштабе времени.

Любая RFID-система состоит из считывающего устройства (ридера) и небольших идентифицирующих устройств (RFID-меток), которые содержат обычно резонансный LC- контур, контроллер и электрически стираемое перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) (рис. 11.9). Содержимое памяти специфично для каждой метки и позволяет идентифицировать носителя метки (человека или объект).

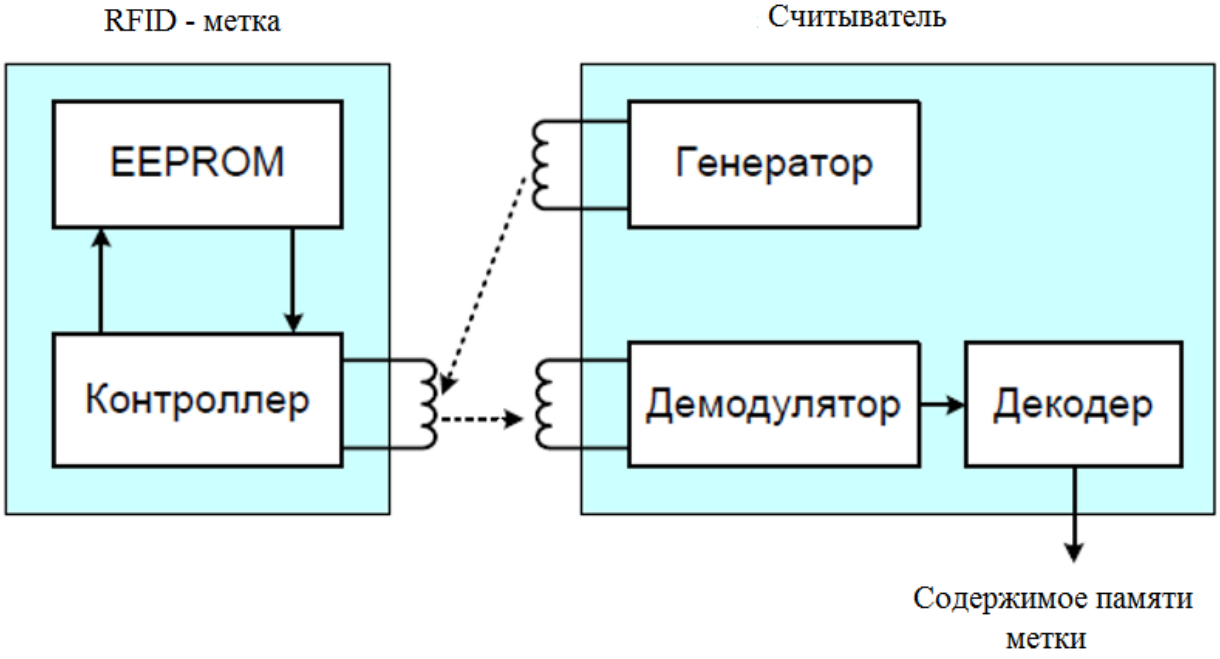

Рис. 11.9. Основные компоненты системы RFID

Основной принцип работы такой системы сводится к следующему. Считыватель излучает радиоволну, которая принимается единственной меткой. Метка, таким образом, получает энергию и отражает радиоволну той же частоты (благодаря индуктивной связи), модулированную кодированным содержимым памяти. Считыватель принимает этот сигнал, демодулирует и декодирует его, чтобы определить содержимое памяти. Затем идентификационная система верхнего уровня проверяет эти данные и, соответственно, управляет процессом. Привлекательность такой системы состоит в том, что она обеспечивает бесконтактное взаимодействие между считывателем и RFID-метками (избегая, таким образом, ограничений на позиционирование объекта с меткой), причем метки не требуют источника питания. Однако когда в поле считывателя находятся две метки, они обе отвечают на излученный считывателем сигнал. При этом демодулированный сигнал считывателя является смесью двух компонент от двух меток и не может быть декодирован. Такая система неспособна одновременно идентифицировать два объекта. Известны несколько способов решения этой проблемы. Некоторые из них состоят в том, что считыватель и метки взаимодействуют в соответствии с заранее определенным протоколом, так что сигналы каждой метки успешно разделяются. Другой подход состоит в использовании меток на различных частотах. По дальности считывания RFID-системы можно подразделить на следующие типы:

- ближней идентификации (считывание производится на расстоянии до 20 см);
- идентификации средней дальности (от 20 см до 5 м);
- дальней идентификации (от 5 м до 100 м).

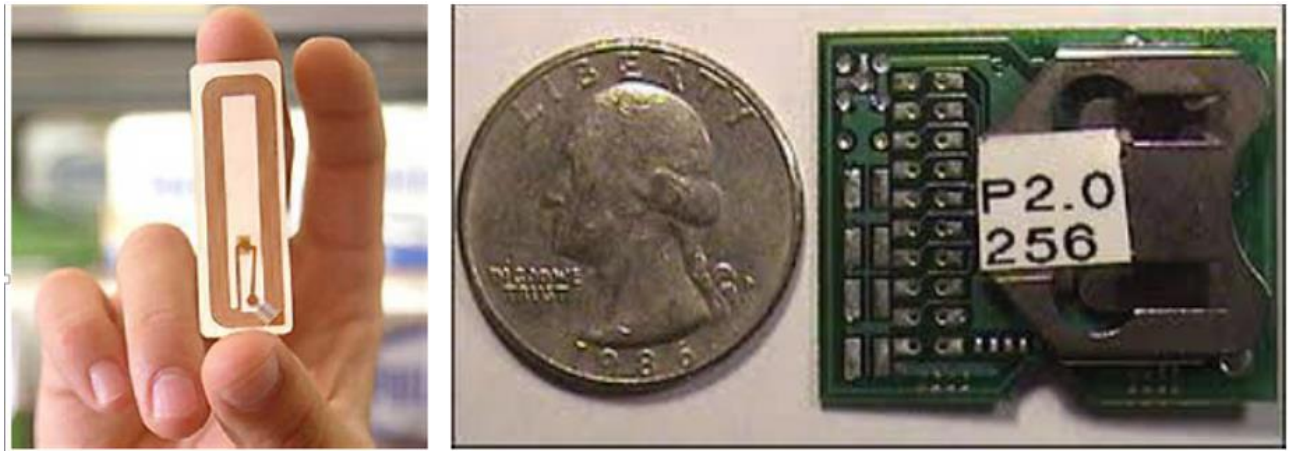

Рис. 11.10. Пассивная (слева) и активная (справа) RFID - метки

Глава 12. Индустрия 4.0

12.1. Содержание концепции «Индустрия 4.0»

Индустрия 4.0 - это термин, который был впервые представлен в 2011 году во время Ганноверской ярмарки группой представителей немецкой промышленности в рамках инициативы по повышению конкурентоспособности Германии в условиях ускоренной интернетизации и кибернетизации производства.

Индустрия 4.0 является следующей, четвертой промышленной революцией. Ее предпосылкой можно считать возникновение возможности объединять, импортировать в облако все отдельные процессы и вычисления в изолированных системах, выполняемые не только фабричными машинами, но и персональными устройствами. Это означает, что рабочий процесс, содержание и управление как отдельной машиной, так и сериями машин сможет выполняться удаленно. Такая организация управления системами позволит значительно сократить человеческие ресурсы, необходимые для обслуживания предприятия.

Рис. 12.1. От первой до четвертой промышленной революции

Для того чтобы разобраться, как это работает, необходимо понять два концептуальных решения: облачные вычисления и интернет вещей (IoT). Первое заключается в размещении в Интернете информации и позволяет осуществлять удаленный доступ к приложениям, службам и сохраненным данным. Интернет вещей основывается на этой же концепции, используя облако для хранения и автоматизации процессов в объектах, которые синхронизируются с Интернетом, таких как автомобили с поддержкой Интернета и удаленное домашнее освещение, различная носимая электроника, например, умные часы или фитнес-браслеты. В индустрии 4.0 используется и то, и другое для принятия производственных процессов, которые обычно управляются и людьми, и

машинами, и перемещают их в облако, где ими можно управлять из любой точки мира.

Четвертая промышленная революция бросает вызов традиционному способу функционирования производственных систем на заводах с централизованными и автономными системами, не связанных между собой. Революционные изменения приведут вскоре к «умным заводам» с возможностью самостоятельного управления проблемами и внутренними процессами. В свою очередь, системы производственного исполнения (MES2), определяющие развитие заводов и их функций учитывают эти концепции. В рамках производственной системы «интернет-вещи» становятся более сложными и приобретают название — кибер - физические производственные системы (CPPS3). CPPS — это программно-аппаратные средства, обладающие вычислительной мощностью, как типичные объекты IoT, кроме этого имеющие встроенные датчики, приводы, предназначенные для самодиагностики и принятия решений на основе их текущего состояния. CPPS будут знать состояние устройства, историю, план обслуживания, его емкость, диапазон возможностей. Такие устройства смогут диагностировать сами себя и «предсказывать» свои поломки, сообщать своему пользователю о необходимости технического обслуживания или замене определенных модулей. Многие устройства уже имеют некоторые возможности для самодиагностики: например, телефон может уведомить владельца о необходимости заменить аккумуляторную батарею, если у нее сильный износ, а умный принтер предупредит владельца о низком уровне чернил в картридже и необходимости его скорой замены, отправив уведомление на приложение в телефоне.

Несмотря на достаточно большие сложности в реализации революции, Индустрия 4.0 обладает рядом бесспорных достоинств.

Наиболее очевидным преимуществом является повышение производительности и рентабельности. В последнем опросе от PWC в 2014 году компании, которые активно внедряют меры по внедрению решений Индустрии 4.0, ожидали более чем на 18% более высокой производительности в течение следующих пяти лет, чем те компании, которые предпочитают традиционное производство. В связи с более высокими требованиями к промышленному сектору, обязательным условием для сохранения конкурентоспособности в современном мире является производство большого количества материалов с меньшим количеством сырья и меньшим количеством энергии, а также внедрение децентрализованных систем, способствующих повышению

эффективности, гибкости и более устойчивому экономическому росту. Интеграция интеллектуальных материалов и оборудования, которые могут диагностировать и чинить себя, поможет оптимизировать процессы, сделать более универсальные производственные решения и неизменно увеличивать прибыльность производства.

Автоматизация производства сможет улучшить контроль качества продукции и ее надежность, но всегда оставался вопрос стоимости, связанной с персонализацией продукта. Теперь сделанные по заказу и настраиваемые продукты для заказчика могут быть легко созданы по более низкой стоимости, независимо от того, печатает ли компания индивидуальные рисунки на футболках или настраивает протезы с помощью 3D-принтера. Если процесс может быть настроен на основе продукта, который он производит, вариации продукции должны быть гораздо дешевле при производстве.

Также большое количество данных, при правильном их анализе и интерпретации руководством дает возможность максимально точно прогнозировать ситуацию на рынке, принимать верные управленческие решения и т.д. В том же исследовании PWC 90% компаний заявили, что способность анализировать данные будет иметь решающее значение для их бизнес-модели через пять лет. Это можно использовать для дальнейшей оптимизации производительности, анализа эффективности продуктов и регулирования типов производимых продуктов.

Необходимо понимать, что четвертая промышленная революция не преобразует заводы и фабрики в одночасье. Понадобится много лет для смены бизнес-процессов и трансформирования технологических цепочек производства. Однако те компании, которые начинают свое цифровое преобразование сейчас, в будущем несомненно получат конкурентные преимущества над теми, кто отказывается признавать, что новая промышленная революция уже началась.

12.2. Основные технологии «Индустрии 4.0»

Основные сферы промышленности, науки и бизнеса, которые затрагивают технологии «Индустрии 4.0» показаны на рис. 12.2.

К ним относятся: аэрокосмическая отрасль, оборонная промышленность и сфера безопасности, автомобильная отрасль, химическая отрасль, электронная промышленность, инженерно - строительная отрасль, лесная, целлюлозно-бумажная и упаковочная промышленность, металлургическая отрасль, машиностроение и производство промышленных товаров, транспорт и логистика.

Рис. 12.2. Основные технологии «Индустрии 4.0»

«Индустрия 4.0» выполняет следующие задачи:

1. Цифровизация и интеграция вертикальных и горизонтальных цепочек создания стоимости.

2. Цифровизация предлагаемых товаров и услуг.

3. Цифровые бизнес – модели и решения, предоставляющие клиентам доступ к системам производителя.

Основными технологиями «Индустрии 4.0» являются:

- анализ больших данных и продвинутые алгоритмы;
- искусственный интелект;
- облачные вычислегия;
- IoT – платформы;
- мобильные устройства;
- технологии определения местоположения;
- 3d – печать и т.д.

12.3. Интернет вещей в «Индустрии 4.0»

Сейчас IoT наиболее активно используется в технологиях умного дома: удалённое управление через Интернет домашними устройствами, удалённый мониторинг и управление системами отопления, освещения, медиа - устройствами, электронными системами безопасности, оповещениями о вторжениях, противопожарными системами и пр.

Широкое применение технология IoT находит в энергетике (смарт-счётчики, системы выявления потерь или краж в электрической сети). В нефтегазовом секторе, например, используется удалённый мониторинг трубопроводов.

Множество решений разрабатывается для более безопасной эксплуатации автомобиля. Технология Connected Cars (подключённые автомобили) позволяет использовать системы экстренного вызова скорой помощи со встроенной SIM-карты. В автостраховании начинают специализироваться на удалённом мониторинге вождения пользователей. На транспорте широко используются системы отслеживания маршрута автомобиля, мониторинг грузоперевозок, контроль отгрузки и складирования. Эксплуатируются автоматизированные системы контроля воздушного движения. Муниципальные органы власти могут использовать IoT-решения для запуска, эксплуатации и контроля системы общественного транспорта с целью оптимизации расхода топлива, применяются системы контроля и управления движением поездов. В ритейле развивается автоматизация логистических задач, удалённый мониторинг и учёт товаров, снабжённых RFID-метками, инвентаризация в реальном времени, беспроводные платёжные решения. В системах общественной безопасности используются системы мониторинга и контроля состояния промышленныхобъектов, мостов, туннелей и т.п. В промышленном производстве распространены контроль процесса производства, удалённая диагностика, управление роботизированными комплексами, в сельском хозяйстве – удалённое управление системами ирригации, отслеживание состояния и поведения животных, мониторинг уровня воды в водоёмах и т.д.

Компания Eurotech является одним из родоначальников (наряду с IBM) протокола MQTT (Message Queue Telemetry Transport) и разрабатывает инструментальные средства и платформы, такие как ESF (Everyware Software Framework) и EDC (Everyware Device Cloud). ESF – это инструментальная платформа (среда , framework) для быстрого создания конечного продукта.

MQTT – протокол обмена сообщениями, предназначенный для связи компьютеризированных устройств. Спецификация MQTT открыта и доступна. Протокол MQTT имеет ряд достоинств по сравнению с протоколом http.

Но наличие простого и гибкого протокола, такого как MQTT, – это только базис для создания приложений. Необходима ещё инструментальная среда (платформа) для быстрой разработки конечного продукта. Компания Eurotech предлагает такую платформу – Everyware Software Framework (ESF). Она

включает ряд требуемых в таких случаях функций: управление устройствами (от обновления ОС и приложений до управления конфигурациями), поддержку работы с несколькими одновременно выполняемыми приложениями, управление журналом приложения, обмен сообщениями приложений и др.

ESF обеспечивает быструю разработку приложений на языке Java с поддержкой аппаратной виртуализации через развитые Java-плагины, а также лёгкую интеграцию промышленных протоколов, таких как Bluetooth, GPS, ZigBee, Ethernet.

Платформа Everyware Device Cloud обеспечивает механизм доставки и управления данными в рамках бизнес - предприятия. Everyware Device Cloud сочетает в себе облако, M2M и Интернет вещей, чтобы учитывать требования клиентов, например, в транспортных, логистических и промышленных компаниях. Специалисты Eurotech предлагают новый тип облака – DaaS (облако устройств) = Device (устройство) + SaaS (ПО по требованию). Стоит отметить, что первая версия данного решения была в 2013 году признана лучшим M2M-решением в мире.

Мощная платформа для локального развёртывания облачного ресурса обеспечивает функциональность и услуги Everyware Cloud, интегрированные в мощный и надёжный сервер. Предприятия теперь могут иметь высокий уровень безопасности и конфиденциальности данных, получаемых от различных устройств, а также управление этими данными там, где сервер развёрнут. Любое устройство в корпоративной инфраструктуре может подключиться к серверу Everyware и предоставить обработку данных в реальном времени.

Например, компания Eurotech внедрила систему автоматического подсчёта пассажиров на основе облака для трамвайного оператора.

Платформа от Eurotech позволяет надёжным и безопасным способом собирать информацию, поступающую от всех умных устройств, которые используются в логистической сфере. Эта платформа серьёзно упрощает интенсивный процесс сбора, обработки и интеграции информации в логистических центрах, экономя тем самым средства и время.

Не последнюю роль компания Eurotech со своими облачными технологиями играет в области автоматизации зданий и предприятий, а также в сфере добычи полезных ископаемых.

Собственно, везде, где применяются хоть какие-либо датчики, имеющие возможность транслировать данные для передачи, обработки и анализа

необходимой информации, могут быть использованы умные технологии Eurotech.

Сервер Everyware обеспечивает своевременную обработку данных. Производительность и гибкость сервера Everyware позволяет клиентам быстро адаптироваться к нуждам бизнеса.

Глава 13. Системы автоматизированного проектирования (САПР) и системы сопровождения жизненного цикла изделий (CALS)

13.1. Ключевые задачи современного производства

Ключевыми факторами успеха в современном промышленном производстве являются уменьшение срока выхода новой продукции на рынок, снижение ее себестоимости и повышение качества. В свою очередь для успешного ведения производства предприятию необходима модернизация конструкторско - технологических и производственных процессов на базе современных ИТ-решений. Использование информационных технологий состоит из следующих процессов:·

- моделирование и проектирование изделия;·
- сопровождение данных об изделии;·
- вычисления и коммуникации;·
- реорганизация бизнес - процессов.

Наиболее критичным из перечисленных процессов является сопровождение данных об изделии. К числу технологий, позволяющих значительно снизить временные затраты в процессе проектирования и сопровождения изделия, относятся CALS - технологии (Continuous Acquisition and Life cycle Support), ключевым компонентом которых служат системы управления проектными и инженерными данными предприятия – так называемые PDM - системы (Product Data Management Systems). Переход к электронной форме хранения обработки и использования документов довольно сложен и дорог, но в итоге он позволяет существенно сократить непроизводительные затраты времени и повысить эффективность производства [17, 18].

Далее рассмотрим последовательно автоматизированные технологии проектирования и сопровождения жизненного цикла сложных изделий машиностроения и радиоэлектроники.

13.2. Этапы жизненного цикла промышленных изделий

Жизненный цикл промышленных изделий включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до утилизации по окончании срока его

использования. К основным этапам жизненного цикла относятся этапы проектирования, технологической подготовки производства (ТПП), собственно производства, реализации продукции, эксплуатации и, наконец, утилизации.

На всех этапах жизненного цикла изделий имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной эффективностью. На этапах проектирования, ТПП и производства нужно обеспечить выполнение ТЗ при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат, что необходимо для достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики. Понятие эффективности включает в себя не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию изделий. Особую важность требования удобства эксплуатации имеют для сложной техники, например в таких отраслях, как авиа - или автомобилестроение.

Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные промышленные изделия, оказывается невозможным без широкого использования автоматизированных систем (АС), основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обусловливает разнообразие применяемых АС.

Обобщенная программная архитектура системы информационной поддержки жизненного цикла изделия показана на рис. 13.1.

13.3. Основные виды и назначение автоматизированных систем проектирования

Автоматизация проектирования осуществляется САПР. Принято выделять в САПР радиоэлектронной отрасли промышленности системы функционального, конструкторского и технологического проектирования. Первые из них называют системами расчетов и инженерного анализа, или системами CAE (Computer Aided Engineering). Системы конструкторского проектирования называют системами CAD (Computer Aided Design).

Проектирование технологических процессов составляет часть технологической подготовки производства и выполняется в системах CAM (Computer Aided Manufacturing). Функции координации работы систем

CAE/CAD/CAM, управления проектными данными и проектированием

Рис. 13.1. Обобщенная программная архитектура системы инфомационной поддержки жизненного цикла изделия

возложены на систему управления проектными данными PDM (Product Data Management).

CAD - системы (computer-aided desing – компьютерная поддержка проектирования) предназначены для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации (в российской терминологии они называются системами автоматизированного проектирования – САПР). Как правило, в современные CAD - системы входят модули моделирования трехмерной объемной конструкции (детали), оформления чертежей и текстовой конструкторской документации (спецификаций, ведомостей покупных изделий и т.д.). Ведущие трехмерные CAD - системы позволяют реализовать идею сквозного цикла подготовки и производства сложных промышленных изделий.

В свою очередь, *CAM - системы (computer-aided manufacturing* – компьютерная поддержка изготовления) предназначены для проектирования обработки изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и

выдачи программ для этих станков (токарных, фрезерных, сверлильных, шлифовальных, эрозионных и др.). CAM - системы в России называют автоматизированными системами технологической подготовки производства (АС ТПП). Они являются практически единственным средством качественного изготовления деталей сложного профиля и сокращения цикла их производства.

В CAM - системах используется трехмерная модель детали, созданная в CAD-системе.

CAE - системы (computer-aided engineering – поддержка инженерных расчетов) представляют собой обширный класс систем, каждая из которых позволяет решать определенную расчетную задачу (группу задач), начиная от электротехнических и математических расчетов, расчетов на прочность, анализа и моделирования электронных схем, тепловых процессов до расчетов гидравлических систем и др. В CAE - системах также используется трехмерная модель изделия. CAE - системы еще называют системами инженерного анализа.

САПР для радиоэлектроники: системы ECAD (Electronic CAD) или EDA (Electronic Design Automation).

За 30-летний период существования CAD -, CAM -, CAE -систем сложилась их общепринятая международная классификация:

- чертежно-ориентированные системы, которые появились в 70 - е годы и успешно применяются на некоторых предприятиях до сих пор;
- системы, позволяющие создавать трехмерную электронную модель объекта, которая дает возможность решения задач от моделирования вплоть до изготовления;
- системы, поддерживающие концепцию полного электронного описания объекта (EPD - Electronic Product Definition).

EPD – это технология, которая обеспечивает разработку и поддержку электронной информационной модели на протяжении всего жизненного цикла изделия, включая маркетинг, концептуальное и рабочее проектирование, технологическую подготовку, производство, эксплуатацию, ремонт и утилизацию. При применении EPD-концепции предполагается замещение “компонентно-центрического” последовательного проектирования сложного изделия на “изделие-центрический” процесс, выполняемый проектно-производственными командами, работающими коллективно. В результате разработки EPD-концепции автономные CAD -, CAM -, CAE - системы превращаются в интегрированные CAD/CAM/CAE - системы.

Традиционно существует также деление CAD/CAM/CAE - систем на системы верхнего, среднего и нижнего уровней. Однако это деление достаточно условно, поскольку сейчас наблюдается тенденция приближения систем среднего уровня (по различным параметрам) к системам верхнего уровня, а системы нижнего уровня перестают быть двумерными чертежно-ориентированными и становятся трехмерными.

CAD/CAM/CAE - системы занимают особое положение среди других прикладных систем, так как представляют индустриальные технологии, непосредственно направленные в наиболее важные области материального производства. В настоящее время невозможно изготовление сложной наукоемкой продукции (кораблей, самолетов, ракет, различных видов радиоэлектронного и промышленного оборудования и др.) без применения CAD/CAM/CAE - систем.

За последние годы эти системы прошли путь от сравнительно простых чертежных приложений до интегрированных программных комплексов, обеспечивающих единую поддержку всего цикла разработки, начиная от эскизного проектирования и заканчивая технологической подготовкой производства, испытаниями и сопровождением. Современные CAD/CAM/CAE-системы не только дают возможность сократить срок внедрения новых изделий, но и оказывают существенное влияние на технологию производства, позволяя повысить качество и надежность выпускаемой продукции, повышая тем самым ее конкурентоспособность. В частности, путем компьютерного моделирования сложных изделий проектировщик может своевременно выявить нестыковку и, благодаря этому, получить экономию на стоимости изготовления физического прототипа.

13.4. Системы управления данными об изделии PDM

PDM (Product Data Management – система управления данными об изделии) представляет собой общий термин, охватывающий все системы, которые применяются для управления определяющей информацией о продукте и процессах используемых для его создания и сопровождения. Таким образом, под PDM понимается управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего жизненного цикла, начиная с проектирования и производства, до снятия с эксплуатации. В PDM - системах обобщены такие технологии, как управление инженерными данными (engineering data management – EDM), управление информацией об изделии (product information management – PIM), управление техническими данными (technical data

management – TDM), управление технической информацией (technical information management – TIM), управление изображениями и манипулирование информацией, всесторонне определяющей конкретное изделие.

PDM - системы отличаются от БД тем, что интегрируют информацию, поступающую из различных источников любых форматов и типов, предоставляя ее пользователям уже в структурированном виде (при этом структуризация производится применительно к особенностям промышленного производства). Также они отличаются от интегрированных систем офисного документооборота, так как работают не только с текстовыми документами, но и с геометрическими моделями и данными, необходимыми для функционирования автоматических линий, станков с ЧПУ и др.

PDM - системы выполняют функции основного интерфейса, с помощью которого пользователи могут обращаться к любым данным, относящимся к разным стадиям разработки объектов, например, к чертежам, построенным методом компьютерного моделирования, диаграммам и спискам, а также к приложениям (программам), используемым для создания документов. Наряду с управлением данными, PDM - системы управляют и проектами, а именно процессами разработки изделия, контролируя информацию об изделии, о состоянии объектов данных, об утверждении вносимых изменений, осуществляя авторизацию и другие операции, которые влияют на информацию об изделии и режимы доступа к ней каждого конкретного пользователя. Таким образом, с помощью PDM - систем осуществляется полный централизованный и постоянный автоматизированный контроль всей совокупности данных, описывающих как само изделие, так и процессы его конструирования, производства, эксплуатации и утилизации.

С помощью PDM - систем можно создавать отчеты о конфигурации выпускаемых изделий (систем), маршрутах их прохождения, включая все составные части, а также составлять ведомости используемых материалов. Все эти документы при необходимости могут отображаться на экране монитора производственного или конструкторского отдела из одной и той же БД. Одной из целей PDM - систем и является обеспечение возможности групповой работы над проектом, т.е. просмотра в реальном времени и совместного использования фрагментов общих информационных ресурсов предприятия. При этом одни данные могут обновляться регулярно, а другие оставаться относительно статичными.

Такой распределенный доступ к ведомостям материалов и конфигурации выпускаемой продукции резко сокращает время на обработку заказа, экономя тем самым материальные и трудовые ресурсы.

PDM - системы необходимо интегрировать в корпоративную информационную среду предприятия. Главной целью этой интеграции является устранение избыточности данных и уменьшение временного цикла их передачи от проектировщиков в производство.

PLM (Product Lifecycle Management)- технология управления жизненным циклом изделий. Организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации. При этом в качестве изделий могут рассматриваться различные сложные технические объекты.

Системы PDM играют роль связующего звена между этапом инженерно-конструкторской разработки нового изделия и системами *ERP (Enterprise Resourse Planing – система управления ресурсами предприятия),* решающих задачи автоматизации управления финансами, складским хозяйством, производством изделий, снабжением и сбытом, техническим обслуживанием и др. Типичными представителями систем группы CAD можно назвать Pro/Engineer, Euclid, Anvil, Cosmos/M, группы КИС Sap R/3 и массу других. Находясь между условными входами и выходами предприятия, PDM - системы аккумулируют все циркулирующие внутри компании данные на продукцию, осуществляют планирование процессов и пошаговый контроль. Иначе говоря, PDM - система является идеальным рабочим местом руководителя проекта. О важности такого рода систем свидетельствует такой известный факт, что 25% рабочего времени персонала компании, начиная от проектировщика и кончая руководителем проекта, тратится на собственно творческую работу, остальное время – это поиск необходимой информации и стыковка потоков данных, поступающих от разных подразделений предприятия. Часто оказывается, что проще и быстрее заново спроектировать деталь, чем найти имеющуюся информацию о ней.

Совместное использование САПР с системами PDM и ERP снимает многие проблемы, связанные с автоматизацией управления предприятием. При этом PDM-система является главным связующим звеном между всеми системами в корпоративной информационной среде предприятия. В качестве примера интеграции систем разного назначения можно привести крупную

кораблестроительную компанию Newport News Shipbuilding (США), использующую в комплексе PDM - систему, несколько систем САПР, ERP - систему SAP R/3, систему управления поставками от компании i2 Technologies, а также несколько других ERP - систем.

Крупнейшими производителями CAD/CAM/CAE/PDM - систем являются компании Autodesk (Auto CAD, Streamline, Web-ориентированное ПО Volo Viel2 и др.), Dassault Systems/IBM (CATIA1, CATIA V5.6 и др.), CNC Software (Mastrecam), INTERMECH, Solid Works Corporation, Аскон, Patio.Pro, АО "Топсистемы" и другие.

13.5. Концепция непрерывного сбора информации и поддержки жизненного цикла изделия

В связи с тем, что стремительно развивается процесс внедрения в наукоемкие отрасли промышленности CALS - технологии, остановимся на ее характеристике несколько подробнее.

Итак, *CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла)* представляет собой совокупность принципов и технологий информационной поддержки жизненного цикла продукции на всех стадиях. Она основана на использовании единого информационного пространства (интегрированной информационной среды), обеспечивает единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла (заказчиков и поставщиков (производителей) продукции, эксплуатирующего и ремонтного персонала). Эта технология реализована в соответствии с требованиями международных стандартов, регламентирующих правила управления и взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными.

Адекватным русскоязычным аналогом понятия CALS-технологии считается следующая формулировка: *Информационная Поддержка процессов жизненного цикла изделий (сокращенно ИПИ)*. Стратегия ИПИ-технологий объединяет следующие составляющие:

- применение современных информационных технологий;
- реинжиниринг бизнес-процессов;
- применение методов «параллельной» разработки;
- стандартизация в области совместного использования данных и электронного обмена информацией.

В дословном переводе аббревиатура CALS означает «непрерывность поставок продукции и поддержки ее жизненного цикла». Определение

«непрерывность поставок» требует и подразумевает оптимизацию процессов взаимодействия заказчика и поставщика в ходе разработки, проектирования и производства сложной продукции, срок жизни которой с учетом модернизации может превысить десятилетие. Вторая часть определения CALS – «поддержка жизненного цикла» подразумевает оптимизацию процессов обслуживания, ремонта, снабжения запасными частями и модернизации.

Основное содержание ИПИ-технологии, принципиально отличающее эту концепцию от других, составляют инвариантные понятия, которые полностью или частично реализуются в течение жизненного цикла (ЖЦ) любого изделия, независимо от его назначения и физического воплощения. Эти понятия условно можно разделить на две категории: основные ИПИ-принципы и базовые ИПИ-технологии.

К основным ИПИ-принципам относятся следующие:

- анализ и реинжиниринг бизнес-процессов (Business-processes analysis and reengineering);
- параллельный инжиниринг (Concurrent Engineering);
- безбумажный обмен данными (Paperless data interchange) с использованием электронной цифровой подписи;
- системная организация постпроизводственных процессов ЖЦ изделия – интегрированная логистическая поддержка (Integrated Logistic Support).

К базовым ИПИ-технологиям относятся технологии:

- управление информационной средой (Information Management);
- управление конфигурацией изделия (Configuration Management);
- управление качеством (Quality);
- управление проектом (Project Management);
- управление потоками работ (Workflow Management);
- управление изменениями производственных и организационных структур (Change Management).

Ядро CALS - технологии составляет единое информационное пространство, представляющее собой распределенной хранилище данных, существующее в сетевой компьютерной системе, охватывающей все службы и подразделения предприятия, связанные с процессами ЖЦ изделий.

Основным строительным блоком CALS - технологии являются стандарты, описывающие правила электронного представления данных об изделиях, среде и процессах, а также правила обмена этими данными.

К основным аспектам, определяющим эффективность применения CALS-технологии, относятся следующие: автоматизация проектирования и производства изделий; информационная интеграция процессов, обеспечивающая совместное и многократное использование одних и тех же данных; переход к безбумажной организации интеллектуальных процессов и применение новых моделей их организации.

Из перечисленных аспектов можно выделить факторы, непосредственно влияющие на экономические показатели производства, применяющего CALS - технологии:

- сокращение затрат и трудоемкости процессов технической подготовки производства новых изделий;
- сокращение сроков вывода новых конкурентоспособных изделий на рынок;
- сокращение доли брака и затрат, связанных с внесением изменений в конструкторскую и технологическую документацию;
- увеличение объемов продаж изделий, снабженных технической документацией (в частности, эксплуатационной) в электронном виде в соответствии с требованиями международных стандартов;
- сокращение затрат на эксплуатацию, обслуживание и ремонт изделий.

CALS - технологии применяются, прежде всего, при разработке и производстве сложной наукоемкой продукции, создаваемой интегрированными промышленными структурами, включающими в себя научно - исследовательские институты, конструкторские бюро, основных подрядчиков, субподрядчиков, поставщиков готовой продукции, потребителей, предприятий технического обслуживания, ремонта и утилизации продукции.

Заключение

Итак, мы обсудили важные вопросы, с которыми встретятся выпускники, окончившие РТУ – МИРЭА по направлению «Информатика и вычислительная техника». Это понятия науки, профессии, специализации, методология науных исследований, особенности развития современной науки и научно –

технического знания, структура технических наук, особенности инженерной деятельности, тенденции развития вычислительной техники, перспективные информационные технологии.

Ключевой задачей технологического развития в настоящее время названа цифровизация всех отраслей экономики и нашей повседневной жизни.

Для решения этой задачи требуются высококвалифицированные научно – технические кадры.

Именно выпускникам РТУ – МИРЭА предстоит выполнить эту важную миссию.

Это учебное пособие должно помочь правильному выбору специализации выпускников и успеху в профессиональной деятельности.

Библиография

1. Канке В. А. История, философия и методология техники и информатики: Рек. УМО вузов в кач. учеб. пособия для вузов / В. А. Канке.— М.: Юрайт, 2013. — 409 с.. — (Магистр). — Библиогр. в конце глав

ISBN 978-5-9916-3030-6 / https://library.mirea.ru/mgupi/47848

2. Канке В. А. Методология научного познания: Учебник для магистров / В.А. Канке.— М.: Омега -Л, 2014.— 255 с..— Библиогр.: с. 248-253

ISBN 978-5-370-02944-8 / https://library.mirea.ru/mgupi/47851

3. Канке В. А. История, философия и методология естественных наук: Доп. УМО высшего образования в кач. учебника для вузов / В.А. Канке.— М.: Юрайт, 2014.— 505 с..— (Магистр).

ISBN 978-5-9916-3041-2 / https://library.mirea.ru/mgupi/47847

4. Ушаков Е. В. Введение в философию и методологию науки.— М.: Кнорус, 2008. — 584 с.. — Библиогр.: с. 583-584

ISBN978-5-85971-103-1 /https://library.mirea.ru/mgupi/42198

5. Старжинский В. П. Методология науки и инновационная деятельность: Пособие для аспирантов, магистрантов и соискателей ученой степ. канд.наук. техн. и экон. спец. / В.П. Старжинский, В.В. Цепкало. — Мн.: Новое знание:Инфра-М, 2013. — 327 с.: ил. — (Высшее образование: Магистратура). — Библиогр.: с. 320-326

ISBN 978-985-475-538-0 https://library.mirea.ru/mgupi/54078

6. Грингард Сэмюэл. Интернет вещей: Будущее уже здесь: Пер. с англ. / С. Грингард. — М.: Изд. группа "Точка", 2017. — 198 с

ISBN 978-5-9614-6118-3 / https://library.mirea.ru/books/53442

7. Завьялова М. П. Методы научного исследования: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 160 с.

8. Пономарев, А.Б. Методология научных исследований: учеб. пособие / А.Б. Пономарев, Э.А. Пикулева. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 186 с.

9. Медунецкий В.М., Силаева К.В. Методология научных исследований. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 55 с.

10. Радоуцкий В.Ю. Основы научных исследований: учеб. Пособие /В.Ю. Радоуцкий, В.Н. Шульженко, Е.А. Носатова; под ред. В.Ю. Радоуцкого. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008.- 133 с.

11. Ангеловский А.А.. Анализ понятий профессия, профессиональное сознание, профессиональная деятельность, профессионализм // Известия

Самарского научного центра Российской академии наук, т. 12, №5(2), 2010. С. 306 -314

12. Малашевич Б.М. 50 лет отечественной микроэлектронике. Краткие лсновы и история развития. –М.: Техносфера, 2013. – 800 с.

13. Кожухар В. М. Основы научных исследований: Учебное пособие /В. М. Кожухар. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2010. — 216 с.

14. Росляков, А.В. Интернет вещей: учебное пособие [текст] / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, А.Ю. Гребешков. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 200 с.

15. Гаврилина О.А., Толстоба Н.Д. Компьютерные технологии в оптотехнике. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 131.

16. Терентьев М.Р. Беспроводные сенсорные сети: учебное пособие / М: - МАИ - Принт, 2008. - 95 с.

17. Сазонов А.А., Джамай В.В. Анализ эффективности внедрения CALS технологий (на примере отечественного авиастроения). //Организатор производства, 2018. Т.26.№1. – С. 84 - 92.

18. Пупков К.А. Применение CALS-технологий для повышения качества изделий: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 105 с.

УДК: 001.8 + 004.03
ББК 32.97
А49[1]

Печатается по решению редакционно-издательского совета РТУ МИРЭА

Рецензенты:
Белов Михаил Леонидович, доктор технических наук, профессор МВТУ имени Баумана
Смирнов А.Б. кандидат физико – математических наук

Алехин В.А.

А49 Специализация научной и профессиональной деятельности: учебное пособие / В.А. Алехин – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2019. – 172 с.

ISBN

В пособии изложены актуальные философские, исторические, методологические и технические вопросы, связанные с понятийным аппаратом науки, методологией научных исследований, ролью технических наук и этапами их развития, структурой современных технических наук, понятиями инженерной деятельности, профессии и профессионализма.

Подробно обсуждаются направления современного развития информационных технологий: компьютеры на новых принципах, Интернет вещей, мобильные беспроводные сенсорные сети, Индустрия 4.0, системы автоматизированного проектирования и т.п.

Предназначено для магистров, обучающихся по направлению «Информатика и вычислительная техника».

УДК: 001.8 + 004.03
ББК 32.97

© Алехин В.А., 2019
© МИРЭА – Российский технологический университет, 2019

ISBN