ВВЕДЕНИЕ

Советы первокурсникам

1. Старайтесь вести себя уравновешенно и дружелюбно по отношению к сокурсникам, если можете чем-то помочь во время учебы – помогите. Дружные группы всегда заканчивают обучение в университете с наименьшими потерями.

2. Если по каким-то причинам вам необходимо прервать обучение, старайтесь обязательно закончить хотя бы первый курс.

3. В вузе нет ежедневного контроля, поэтому нужно выработать у себя привычку работать регулярно, хотя бы по полчаса или часу каждый день.

4. Обязательно ведите конспекты (самая плохая авторучка лучше самой хорошей памяти) и старайтесь не пропускать занятия, их и так слишком мало (а при заочном обучении в 3-4 раза меньше, чем в дневном вузе).

5. Если вы хотите стать профессионалом в своем деле, нужно обязательно иметь дома библиотечку технической литературы и в первую очередь следует приобретать справочную литературу.

6. Изучая техническую литературу, обязательно выписывайте в свой конспект самые важные сведения и определения. Перед экзаменом вы сможете несколько раз прочесть эти записи, и тогда эти сведения и определения останутся в вашей долговременной памяти и составят основу вашего технического образования.

7. Помните: некомпетентность и небрежность – наиболее серьезные недостатки для любого работника, но особенно для инженера. Именно сейчас складывается ваш характер, не забывайте самую мудрую пословицу: посеешь привычку – пожнешь характер, посеешь характер – пожнешь судьбу.

8. Научитесь ценить свое и чужое время, важно уметь плодотворно работать и эффективно отдыхать.

9. Помните: инженерная работа – это интересная и творческая работа, и вы на правильном пути.

Десятую заповедь, надеемся, Вы сформулируете сами.

1. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ СТАНДАРТ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Направление подготовки дипломированного специалиста – 11.03.03 «Проектирование и технология электронных средств».
Квалификация – инженер

1.1. Общая характеристика направления подготовки дипломированного специалиста «Проектирование и технология электронных средств»

1.1.1. Направление подготовки дипломированного специалиста утверждено приказом Министерства образования Российской Федерации N 686 от 02.03.2000 г.

1.1.2. Перечень образовательных программ (специальностей), реализуемых в рамках данного направления подготовки дипломированного специалиста:

Проектирование и технология радиоэлектронных средств,

1.1.3. Квалификация выпускника – инженер

Нормативный срок освоения основной образовательной программы подготовки инженера в рамках направления подготовки дипломированного специалиста “Проектирование и технология электронных средств” при очной форме обучения - 5 лет.

1.1.4. Квалификационная характеристика выпускника

Выпускник по направлению “Проектирование и технология электронных средств” может занимать следующие должности:

инженер,
инженер-конструктор,
инженер-лаборант,
инженер по подготовке производства,
инженер-технолог,
инженер-электроник и другие.

1.1.5. Область профессиональной деятельности

Область профессиональной деятельности выпускника включает в себя проектирование, конструирование и технологию электронных средств, отвечающих целям их функционирования, требованиям надежности, дизайна и условиям эксплуатации.

1.1.6. Объекты профессиональной деятельности

Объектами профессиональной деятельности выпускника являются радиоэлектронные средства и электронно-вычислительные средства, технологические процессы производства и технологическое оборудование, конструкторская и технологическая документация, методы и средства настройки и испытаний, контроля качества и обслуживания электронных средств.

1.1.7. Виды профессиональной деятельности

Выпускники по направлению подготовки “Проектирование и технология электронных средств” могут выполнять следующие виды профессиональной деятельности:

- проектная;
- научно-исследовательская;
- производственно-технологическая;
- организационно-управленческая;
- сервисно-эксплуатационная.

1.1.8. Обобщенные задачи профессиональной деятельности

Выпускники по направлению подготовки “Проектирование и технология электронных средств” в зависимости от вида профессиональной деятельности подготовлены к решению следующих профессиональных задач:

а) проектная деятельность:

- оценка актуальности, перспективности, народнохозяйственной значимости объектов проектирования в области электронных средств;

- выбор оптимальных проектных решений на всех этапах проектного процесса от технического задания до производства изделий, отвечающих целям функционирования, технологии производства и обеспечения характеристик объекта, определяющих его качество;

- разработка и внедрение технологических процессов, технологического оборудования и технологической оснастки, средств автоматизации и механизации производства;

- выпуск конструкторско-технологической документации на объекты проектирования;

б) научно-исследовательская деятельность:

- исследования в области фундаментальных проблем проектирования, включающих в себя разработку оптимальных математических моделей объектов на различных этапах проектирования;
- анализ возможностей построения электронных средств на перспективных физических принципах функционирования;
- развитие перспективных направлений в области информационных технологий проектирования радиоэлектронных и электронно-вычислительных средств;
- поиск технических, экономических и технологических решений в области радиоэлектронных и электронно-вычислительных средств, обеспечивающих научно-технический прогресс;

в) производственно-технологическая деятельность:

- организация производственного процесса и обеспечение технологического процесса производства;
- разработка программ испытаний и систем контроля;
- разработка технологической документации;
- разработка и внедрение технологического оборудования, средств автоматизации технологических процессов;

г) организационно-управленческая деятельность:

- организация деятельности конструкторско-технологических служб на выполнение задач проектирования электронных средств;
- участие в организации деятельности служб по всеобщему управлению качеством;

д) сервисно-эксплуатационная деятельность:

- разработка и составление инструкций по эксплуатации, техническому обслуживанию и настройке электронных средств с позиций требований сохранения параметров качества в определенных пределах, в течение гарантированного времени, при заданных условиях эксплуатации;
- участие в монтаже, настройке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию образцов изделий.

1.1.9. Квалификационные требования

Для решения профессиональных задач инженер

- осуществляет сбор, отработку, анализ и систематизацию научно-технической информации по теме исследований;
- изучает специальную литературу и другую научно-техническую информацию, достижения отечественной и зарубежной науки и техники в области проектирования и технологии электронных средств;
- осуществляет разработку конкурентоспособной продукции и современных технологических процессов;
- проводит экспериментальные исследования конструкций электронных средств и технологических процессов их производства с целью их модернизации или создания новых конструкций и их технологий;
- составляет описания проводимых исследований, готовит данные для составления отчетов, обзоров и другой документации;
- выполняет математическое моделирование конструкций или технологических процессов с целью оптимизации их параметров;
- оценивает экономическую эффективность принимаемых проектно-конструкторских решений, обеспечивает необходимый уровень унификации и стандартизации изделий;
- разрабатывает конструкторскую и технологическую документацию, оформляет законченные научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы;
- составляет планы размещения оборудования, технического оснащения и организации рабочих мест, рассчитывает производственные мощности и загрузку оборудования;
- участвует в разработке технически-обоснованных норм выработки, норм обслуживания оборудования, технологических нормативов на расход материалов, заготовок, деталей и энергии;
- разрабатывает метрологическое обеспечение технологических процессов, выбирает методы и средства контроля качества выпускаемой продукции, проводит ее сертификацию;
- осуществляет контроль над соблюдением технологической дисциплины на предприятии и правильной эксплуатации диагностического и технологического оборудования;
- разрабатывает и принимает участие в реализации

мероприятий по повышению эффективности производства, направленных на сокращение расхода материалов, снижение трудоемкости, повышение производительности труда;

- анализирует причины брака и выпуска продукции низкого качества и пониженных сортов, принимает участие в разработке мероприятий по их предупреждению, а также в рассмотрении поступающих рекламаций на выпускаемую предприятием продукцию;
- определяет техническое состояние оборудования, планирует техническое обслуживание и ремонт;
- участвует в монтаже, наладке, регулировании, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов разрабатываемых конструкций;
- принимает участие в составлении патентных и лицензионных паспортов, заявок на изобретения и промышленные образцы;
- рассматривает рационализаторские предложения по совершенствованию конструкции и технологии производства электронных средств, дает заключения о целесообразности их использования;
- участвует во внедрении разработанных технических решений и проектов, в оказании технической помощи и осуществлении авторского надзора при изготовлении, испытаниях и сдаче в эксплуатацию проектируемых изделий;
- осуществляет профилактику производственного травматизма и профессиональных заболеваний, разрабатывает мероприятия по предотвращению экологических нарушений, защите интеллектуальной собственности;
- подготавливает рецензии, отзывы и заключения на техническую документацию, разрабатывает инструкции по эксплуатации оборудования, технике безопасности и программам испытаний электронных средств.

Инженер должен знать:

- постановления, распоряжения, приказы, методические и нормативные материалы по своей профессиональной деятельности;
- действующие стандарты и технические условия, положения и

инструкции по эксплуатации оборудования, программам испытаний, оформлению технической документации;

- технические характеристики и экономические показатели лучших отечественных и зарубежных образцов конструкций электронных средств и технологий их производства;
- технические требования, предъявляемые к материалам и готовой продукции;
- основное используемое оборудование и принципы его работы;
- нормативы расхода материалов, топлива и энергии;
- перспективы технического развития предприятия;
- виды брака и способы его предупреждения;
- порядок и методы проведения патентных исследований;
- основы изобретательства и рационализаторства;
- современные средства вычислительной техники, коммуникации и связи;
- специальную научно-техническую и патентную литературу по тематике исследований и разработок;
- порядок пользования периодическими, реферативными и справочно-информационными изданиями по профилю специальности;
- основы экономики, организации труда и управления коллективом;
- основы трудового законодательства;
- правила и нормы охраны труда;
- методики расчета технико-экономической эффективности при выборе технических и организационных решений;
- рациональные способы защиты и порядок действий коллектива предприятия (отдела, лаборатории, цеха) в чрезвычайных ситуациях.

1.1.10. Возможности продолжения образования выпускника

Инженер, освоивший основную образовательную программу высшего профессионального образования в рамках направления подготовки дипломированного специалиста по направлению “Проектирование и технология электронных средств”, подготовлен

для продолжения образования в аспирантуре.

1.2. Требования к уровню подготовки абитуриента

1.2.1. Предшествующий уровень образования абитуриента – среднее (полное) общее образование.

1.2.2. Абитуриент должен иметь документ государственного образца о среднем (полном) общем образовании или среднем профессиональном образовании, или начальном профессиональном образовании, если в нем есть запись о получении предъявителем среднего (полного) общего образования, или высшем профессиональном образовании.

1.3. Общие требования к основной образовательной программе подготовки дипломированного специалиста по направлению «Проектирование и технология электронных средств»

1.3.1. Основная образовательная программа подготовки инженера разрабатывается на основании настоящего государственного образовательного стандарта дипломированного специалиста и включает в себя перечень учебных дисциплин, программы учебных, научных и производственных практик.

1.3.2. Требования к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы подготовки инженера, к условиям ее реализации и срокам ее освоения определяются настоящим государственным образовательным стандартом.

1.3.3. Основная образовательная программа подготовки инженера состоит из дисциплин федерального компонента, дисциплин национально-регионального (вузовского) компонента, дисциплин по выбору студента, а также факультативных дисциплин. Дисциплины вузовского компонента и по выбору студента в каждом цикле должны содержательно дополнять дисциплины, указанные в федеральном компоненте цикла.

1.3.4. Основная образовательная программа подготовки инженера должна предусматривать изучение студентом следующих циклов дисциплин:

цикл ГСЭ – Общие гуманитарные и социально-экономические

дисциплины;

цикл ЕН – Общие математические и естественнонаучные дисциплины;

цикл ОПД – Общепрофессиональные дисциплины;

цикл СД – Специальные дисциплины, включая дисциплины специализации;

ФТД – Факультативы.

1.3.5. Содержание национально-регионального компонента основной образовательной программы подготовки инженера должно обеспечивать подготовку выпускника в соответствии с квалификационной характеристикой, установленной настоящим государственным образовательным стандартом.

1.4. Требования к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по направлению подготовки дипломированного специалиста «Проектирование и технология электронных средств»

Индекс	Наименование дисциплин и их основные разделы	Всего часов
ГСЭ	Общие гуманитарные и социально-экономические дисциплины	1802
ГСЭ.Ф.00	Федеральный компонент	1262

ГСЭ.Ф.01	Иностранный язык: лексический минимум в объеме 4000 учебных лексических единиц общего и терминологического характера; грамматические навыки, обеспечивающие коммуникацию общего характера без искажения смысла при письменном и устном общении; основные грамматические явления, характерные для профессиональной речи; понятие об обиходно-литературном, официально-деловом, и научном стилях, стиле художественной литературы; основные особенности научного стиля; культура и традиции стран изучаемого языка, правила речевого этикета; говорение; диалогическая и монологическая речь с использованием наиболее употребительных и относительно простых лексико-грамматических средств в основных коммуникативных ситуациях неофициального и официального общения; чтение; виды текстов: несложные прагматические тексты и тексты по широкому и узкому профилю специальности; письмо; виды речевых произведений: аннотация, реферат, тезисы, сообщения, частное письмо, деловое письмо, биография.	340
ГСЭ.Ф.02	Физическая культура: физическая культура в общекультурной и профессиональной подготовке студентов; ее социально-биологические основы; основы здорового образа жизни студента; особенности использования средств физической культуры для оптимизации работоспособности; общая физическая и специальная подготовка в	408

	системе физического воспитания; основы методики самостоятельных занятий и самоконтроль за состоянием своего организма.	
ГСЭ.Ф.03	Отечественная история: сущность, формы, функции исторического знания; методы и источники изучения истории; понятие и классификация исторического источника; отечественная историография в прошлом и настоящем: общее и особенное; методология и теория исторической науки; история России как неотъемлемая часть истории; античное наследие в эпоху Великого переселения народов; проблема этногенеза восточных славян; основные этапы становления государственности; Древняя Русь и кочевники; Византийско-древнерусские связи; особенности социального строя Древней Руси; этнокультурные и социально-политические процессы становления русской государственности; принятие христианства; распространение ислама; эволюция восточнославянской государственности в XI-XII вв.; социально-политические изменения в русских землях в XIII-XV вв.; Русь и Орда: проблемы взаимовлияния; Россия и средневековые государства Европы и Азии; специфика формирования единого российского государства; возвышение Москвы; формирование сословной системы организации общества; реформы Петра 1; Век Екатерины; предпосылки и особенности складывания российского абсолютизма; дискуссии о генезисе самодержавия; особенности и основные этапы	см.п. 1.6.1.2

	экономического развития России; эволюция форм собственности на землю; структура феодального землевладения; крепостное право в России; мануфактурно-промышленное производство; становление индустриального общества в России: общее и особенное; общественная мысль и особенности общественного движения России XIXв; реформы и реформаторы в России; русская культура XIX века и ее вклад в мировую культуру; роль XX столетия в мировой истории; глобализация общественных процессов; проблема экономического роста и модернизации; революции и реформы; социальная трансформация общества; столкновение тенденций интернационализма и национализма, интеграции и сепаратизма, демократии и авторитаризма; Россия в начале XX в.; объективная потребность индустриальной модернизации России; Российские реформы в контексте общемирового развития в начале века; политические партии России: генезис, классификация, программы, тактика; Россия в условиях мировой войны и общенационального кризиса; революция 1917 г.; гражданская война и интервенция, их результаты и последствия; российская эмиграция; социально-экономическое развитие страны в 20-е гг.; НЭП; формирование однопартийного политического режима; образование СССР; культурная жизнь страны в 20-е гг.; внешняя политика; курс на строительство социализма в одной стране и его	

	последствия; социально-экономические преобразования в 30-е гг.; усиление режима личной власти Сталина; сопротивление сталинизму; СССР накануне и в начальный период второй мировой войны; Великая Отечественная война; социально-экономическое развитие, общественно-политическая жизнь, культура, внешняя политика СССР в послевоенные годы; холодная война; попытки осуществления политических и экономических реформ; НТР и ее влияние на ход общественного развития; СССР в середине 60-80-х гг.: нарастание кризисных явлений; Советский Союз в 1985-1991 гг.; перестройка; попытка государственного переворота 1991 г. и ее провал; Беловежские соглашения; октябрьские события 1993 г; становление новой российской государственности (1993-1999 гг.); Россия на пути радикальной социально-экономической модернизации; культура в современной России; внешнеполитическая деятельность в условиях новой геополитической ситуации.	
ГСЭ.Ф.04	Культурология: структура и состав современного культурологического знания; культурология и история культуры; основные понятия культурологии: типология культур, этническая и национальная, элитарная и массовая культуры; восточные и западные типы культур; культура и глобальные проблемы современности.	
ГСЭ.Ф.05	Политология: объект, предмет и метод политической науки;	

	функции политологии; политическая жизнь и властные отношения; роль и место политики в жизни современных обществ; российская политическая традиция: истоки, социокультурные основания, историческая динамика; политическая власть; политическая система: политические режимы, политические партии, электоральные системы; политические отношения и процессы; политические конфликты и способы их разрешения; политические технологии; политические организации и движения; политические элиты; политическое лидерство; мировая политика и международные отношения.	
ГСЭ.Ф.06	Русский язык и культура речи: стили современного русского литературного языка; языковая норма, ее роль в становлении и функционировании литературного языка; речевое взаимодействие; основные единицы общения; устная и письменная разновидности литературного языка; нормативные, коммуникативные, этические аспекты устной и письменной речи; функциональные стили современного русского языка; взаимодействие функциональных стилей; научный стиль; специфика использования элементов различных языковых уровней в научной речи; речевые нормы учебной и научной сфер деятельности; официально-деловой стиль, сфера его функционирования, жанровое разнообразие; языковые формулы официальных документов; приемы унификации языка служебных документов; интернациональные свойства русской	

	официально-деловой письменной речи; язык и стиль распорядительных документов; язык и стиль коммерческой корреспонденции; язык и стиль инструктивно-методических документов; реклама в деловой речи; правила оформления документов; речевой этикет в документе; жанровая дифференциация и отбор языковых средств в публицистическом стиле; особенности устной публичной речи; оратор и его аудитория; основные виды аргументов; подготовка речи: выбор темы, цель речи, поиск материала, начало, развертывание и завершение речи; основные приемы поиска материала и виды вспомогательных материалов; словесное оформление публичного выступления; понятливость, информативность и выразительность публичной речи; разговорная речь в системе функциональных разновидностей русского литературного языка; условия функционирования разговорной речи, роль внеязыковых факторов; культура речи; основные направления совершенствования навыков грамотного письма и говорения.	
ГСЭ.Ф.07	Психология и педагогика: психология: предмет, объект и методы психологии; психика, поведение и деятельность; основные функции психики; мозг и психика; структура психики; основные психические процессы; структура сознания; познавательные процессы; эмоции и чувства; психическая регуляция поведения и деятельности; психология личности; педагогика: объект, предмет, задачи, функции,	

	методы педагогики; основные категории педагогики: образование, воспитание, обучение, педагогическая деятельность, педагогическое взаимодействие, педагогическая технология, педагогическая задача.	
ГСЭ.Ф.08	Правоведение: государство и право; система российского права; конституция Российской Федерации - основной закон государства; понятие гражданского правоотношения; физические и юридические лица; право собственности; административные правонарушения и административная ответственность; уголовная ответственность за совершение преступлений; особенности правового регулирования будущей профессиональной деятельности.	
ГСЭ.Ф.09	Социология: предыстория и социально-философские предпосылки социологии как науки; общество и социальные институты; мировая система и процессы глобализации; социальные группы и общности; виды общностей; общность и личность; малые группы и коллективы; социальная организация; социальные движения; социальное неравенство, стратификация и социальная мобильность; понятие социального статуса; личность как социальный тип; социальный контроль и девиация; социальные изменения; социальные революции и реформы; концепция социального прогресса; место России в мировом сообществе; методы социологического исследования.	

ГСЭ.Ф.10	Философия: предмет философии; место и роль философии в культуре; становление философии; основные направления, школы философии и этапы исторического развития; структура философского знания; учение о бытии; монистические и плюралистические концепции бытия, самоорганизация бытия; понятия материального и идеального; пространство, время; движение и развитие, диалектика; детерминизм и индетерминизм; динамические и статистические закономерности; научные, философские и религиозные картины мира; человек, общество, культура; человек и природа; общество и его структура; гражданское общество и государство; человек в системе социальных связей; человек и исторический процесс: личность и массы, свобода и необходимость; формационная и цивилизационная концепции общественного развития; смысл человеческого бытия; насилие и ненасилие; свобода и ответственность; мораль, справедливость, право; нравственные ценности; представление о совершенном человеке в различных культурах; эстетические ценности и их роль в человеческой жизни; религиозные ценности и свобода совести; сознание и познание; сознание, самосознание и личность; познание, творчество, практика; вера и знание; понимание и объяснение; рациональное и иррациональное в познавательной деятельности; проблема истины; действительность, мышление, логика	

	и язык; научное и ненаучное знание; критерии научности; структура научного познания, его методы и формы; рост научного знания; научные революции и смены типов рациональности; наука и техника; будущее человечества; глобальные проблемы современности; взаимодействие цивилизаций и сценарии будущего.	
ГСЭ.Ф.11	Экономика: введение в экономическую теорию; блага; потребности, ресурсы; экономический выбор; экономические отношения; экономические системы; основные этапы развития экономической теории; методы экономической теории; макроэкономика; рынок; спрос и предложения; потребительские предпочтения и предельная полезность; факторы спроса; индивидуальный и рыночный спрос; эффект дохода и эффект замещения; эластичность; предложение и его факторы; закон убывающей предельной производительности; эффект масштаба; виды издержек; фирма; выручка и прибыль; принцип максимизации прибыли; предложение совершенно конкурентной фирмы и отрасли; эффективность конкурентных рынков; рыночная власть; монополия; монополистическая конкуренция; олигополия; антимонопольное регулирование; спрос на факторы производства; рынок труда; спрос и предложение труда; заработная плата и занятость; рынок капитала; процентная ставка и инвестиции; рынок земли; рента; общее равновесие и благосостояние; неравенство; внешние эффекты и общественные блага; роль	

	государства; макроэкономика: национальная экономика как целое; кругооборот доходов и продуктов; ВВП и способы его измерения; национальный доход; располагаемый личный доход; индексы цен; безработица и ее формы; инфляция и ее виды; экономические циклы; макроскопическое равновесие; совокупный спрос и совокупное предложение; стабилизационная политика; равновесие на товарном рынке; потребление и сбережения; инвестиции; государственные расходы и налоги; эффект мультипликатора; бюджетно-налоговая политика; деньги и их функции; равновесие на денежном рынке; денежный мультипликатор; банковская система; денежно-кредитная политика; экономический рост и развитие; международные экономические отношения; внешняя торговля и торговая политика; платежный баланс; валютный курс; особенности переходной экономики России; приватизация; формы собственности; предпринимательство; теневая экономика; рынок труда; распределение и доходы; преобразования в социальной сфере; структурные сдвиги в экономике; формирование открытой экономики.	
ГСЭ.Р.00	Национально-региональный (вузовский) компонент	270
ГСЭ.В.00	Дисциплины и курсы по выбору студента, устанавливаемые вузом	270
ЕН	Общие математические и естественнонаучные дисциплины	2500
ЕН.Ф.00	Федеральный компонент	2350

ЕН.Ф.01	Математика: аналитическая геометрия и линейная алгебра; последовательности и ряды; дифференциальное и интегральное исчисления; векторный анализ и элементы теории поля; гармонический анализ; дифференциальные уравнения; численные методы; основы вычислительного эксперимента; функции комплексного переменного; элементы функционального анализа; вероятность и статистика: теория вероятности, случайные процессы, статистическое оценивание и проверка гипотез, статистические методы обработки экспериментальных данных; вариационное исчисление и оптимальное управление; уравнения математической физики.	800
ЕН.Ф.02	Информатика: понятие информации; общая характеристика процессов сбора, передачи, обработки и накопления информации; технические и программные средства реализации информационных процессов; модели решения функциональных и вычислительных задач; алгоритмизация и программирование; языки программирования высокого уровня; базы данных; программное обеспечение и технология программирования; локальные и глобальные сети ЭВМ; основы защиты информации и сведений, составляющих государственную тайну; методы защиты информации; компьютерный практикум.	300
ЕН.Ф.03	Физика: физические основы механики: понятие	800

	состояния в классической механике, уравнения движения, законы сохранения, инерциальные и неинерциальные системы отсчета, кинематика и динамика твердого тела, жидкостей и газов, основы релятивистской механики; физика колебаний и волн: гармонический и ангармонический осциллятор, свободные и вынужденные колебания, интерференция и дифракция волн; молекулярная физика и термодинамика: три начала термодинамики, термодинамические функции состояния, классическая и квантовая статистики, кинетические явления, порядок и беспорядок в природе; электричество и магнетизм: электростатика и магнитостатика в вакууме и веществе, электрический ток, уравнение непрерывности, уравнения Максвелла, электромагнитное поле, принцип относительности в электродинамике; оптика: отражение и преломление света, оптическое изображение, волновая оптика, принцип голографии, квантовая оптика, тепловое излучение, фотоны; атомная и ядерная физика: корпускулярно-волновой дуализм в микромире, принцип неопределенности, квантовые уравнения движения, строение атома, магнетизм микрочастиц, молекулярные спектры, электроны в кристаллах, атомное ядро, радиоактивность, элементарные частицы; современная физическая картина мира: иерархия структур материи, эволюция Вселенной, физическая картина мира как философская категория; физический практикум; физические основы механики.	

	Колебания и волны. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм. Оптика. Атомная и ядерная физика. Физический практикум	
ЕН.Ф.04	Химия: химические системы: растворы, дисперсные системы, электрохимические системы, катализаторы и каталитические системы, полимеры и олигомеры; химическая термодинамика и кинетика: энергетики химических процессов, химическое и фазовое равновесие, скорость реакции и методы ее регулирования, колебательные реакции; реакционная способность веществ: химия и периодическая система элементов, кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства веществ, химическая связь, комплементарность; химическая идентификация: качественный и количественный анализ, аналитический сигнал, химический, физико-химический и физический анализ; химический практикум.	200
ЕН.Ф.05	Экология: биосфера и человек: структура биосферы, экосистемы, взаимоотношения организма и среды, экология и здоровье человека; глобальные проблемы окружающей среды; экологические принципы рационального использования природных ресурсов и охраны природы; основы экономики природопользования; экозащитная техника и технологии; основы экологического права, профессиональная ответственность; международное сотрудничество в области	70

	окружающей среды.	
ЕН.Ф.06	Физические основы микроэлектроники: физические основы квантовой механики; применение уравнения Шредингера к описанию движения свободной частицы; фазовая и групповая скорости; фононы; элементы зонной теории твердых тел; примесные уровни; рекомбинационные эффекты; скорость рекомбинации; уравнение непрерывности для полупроводников; электропроводность твердых тел; контактные явления; поверхностные явления в полупроводниках, поверхностная рекомбинация; полевой транзистор; перенос носителей заряда в тонких пленках.	180
ЕН.Р.00	Национально региональный (вузовский) компонент	75
ЕН.В.00	Дисциплины и курсы по выбору студента, устанавливаемые вузом	75
ОПД	Общепрофессиональные дисциплины направления	1870
ОПД.Ф.00	Федеральный компонент	1570
ОПД.Ф.01 ОПД.Ф.01.01	Начертательная геометрия. Инженерная графика Инженерная и компьютерная графика: начертательная геометрия; задание точки, прямой, плоскости и многогранников на комплексном чертеже Монжа; позиционные задачи; метрические задачи; способы преобразования чертежа; аксонометрические проекции; конструкторская документация; оформление чертежей; элементы геометрии деталей; изображения, надписи, обозначения; аксонометрические проекции деталей;	130

	изображения и обозначения элементов деталей; изображение и обозначение резьбы; рабочие чертежи деталей; выполнение эскизов деталей машин; изображения сборочных единиц; сборочный чертеж изделий; компьютерная графика; графические языки; базовая графика; пространственная графика; современные стандарты компьютерной графики; графические диалоговые системы; применение интерактивных графических систем.	
ОПД.Ф.02 ОПД.Ф.02.01	Механика Прикладная механика: Машины и механизмы, структурный, кинематический, динамический и силовой анализ; синтез механизмов; особенности проектирования изделий: виды изделий, требования к ним, стадии разработки; принципы инженерных расчетов: расчетные модели геометрической формы, материала и предельного состояния, типовые элементы изделий; напряженное состояние детали и элементарного объема материала; механические свойства конструкционных материалов; расчет несущей способности типовых элементов; сопряжения деталей; допуски и посадки, размерные цепи; механические передачи трением и зацеплением; валы и оси, соединения вал-втулка; опоры скольжения и качения; уплотнительные устройства; упругие элементы; муфты; соединения деталей: резьбовые, заклепочные, сварные, паяные, клеевые; корпусные детали; механизмы	100

	электронных средств	
ОПД.Ф.03 ОПД.Ф.03.01	Материаловедение. Технология конструкционных материалов Материаловедение и материалы электронных средств: принципы классификации материалов электронных средств; основы материаловедения; термическая обработка материалов; электрические, электрофизические, физико-химические, механические и технологические свойства материалов; конструкционные материалы; устойчивость материалов к воздействию внешней рабочей среды; диэлектрические материалы и физические процессы в них; проводниковые материалы; материалы высокой проводимости, сплавы высокого сопротивления, резистивные материалы; полупроводниковые материалы и их свойства; магнитные материалы; материалы с особыми свойствами, сверхпроводники, аморфные металлические сплавы, лазерные и оптические материалы.	130
ОПД.Ф.04 ОПД.Ф.04.01	Электротехника и электроника Общая электротехника и электроника: введение; электрические и магнитные цепи; основные определения, топологические параметры и методы расчета электрических цепей; анализ и расчет линейных цепей переменного тока; анализ и расчет электрических цепей с нелинейными элементами; анализ и расчет магнитных цепей; электромагнитные устройства и электрические машины; трансформаторы;	300

	машины постоянного тока; асинхронные машины; синхронные машины; основы электроники; контактные явления; полупроводниковые диоды; биполярные транзисторы; полупроводниковые элементы интегральных микросхем; приборы с зарядовой связью; полупроводниковые лазеры, приемники излучения, термисторы, варисторы, термоэлектрические приборы.	
ОПД.Ф.05 ОПД.Ф.05.01	Управление, сертификация и инноватика Метрология, стандартизация и технические измерения: задачи метрологии; теоретические основы метрологии; эталон единицы величины как основа для получения измеряемой величины; понятие погрешности, источники погрешностей; классификация погрешностей; алгоритмы обработки измерений; основные задачи прикладной метрологии: экспериментальная оценка, поверка и калибровка средств измерений; государственные и локальные схемы поверки; правовые основы стандартизации; основные положения и термины в области стандартизации; основные положения государственной системы стандартизации; категории и виды стандартов; объекты стандартизации; стандартизация объектов электронных средств; обязательная и добровольная сертификация; правила и порядок проведения сертификации; общие сведения о методах и средствах измерений; статистическая обработка экспериментальных	130

	данных; измерение геометрических размеров; измерение электрических сигналов; измерение частоты, интервалов времени, фазового сдвига и формы самого сигнала; измерение спектра и параметров сложных сигналов; измерение тока, напряжения и мощности; электрические измерения неэлектрических величин; первичные преобразователи; измерительные информационные системы	
ОПД.Ф.06	Безопасность жизнедеятельности: человек и среда обитания; характерные состояния системы “человек-среда обитания”; основы физиологии труда и комфортные условия жизнедеятельности в техносфере; критерии комфортности; негативные факторы техносферы; их воздействие на человека, техносферу и природную среду; критерии безопасности; опасности технических систем: отказ, вероятность отказа, качественный и количественный анализ опасностей; средства снижения травмоопасности и вредного воздействия технических систем; безопасность функционирования автоматизированных и роботизированных производств; безопасность в чрезвычайных ситуациях; управление безопасностью жизнедеятельности; правовые и нормативно-технические основы управления; системы контроля требований безопасности и экологичности; профессиональный отбор операторов технических систем; экономические последствия и материальные затраты на обеспечение безопасности жизнедеятельности; международное	130

	сотрудничество в области безопасности жизнедеятельности.	
ОПД.Ф.07	Организация и планирование производства: подготовка и организация высокотехнологичного производства; организация вспомогательных цехов и служб предприятия; стратегическое и оперативное планирование производства; методы управления производством и информационное обеспечение; методы разработки и принятия управленческих решений; методы управления персоналом, рациональная организация труда; мотивация, профессиональная адаптация и деловая карьера на предприятии.	80
ОПД.Ф.08	Основы автоматики и системы автоматического управления: основы теории линейных непрерывных и дискретных систем управления; линейные системы управления при случайных воздействиях; нелинейные системы управления; основы теории оптимальных систем управления; датчики управляемых величин; исполнительные устройства автоматики; включение ЭВМ в контур управления; устройства связи с объектом управления; обработка информации с датчиков; фильтрация, экстраполяция, интерполяция сигналов; режим реального времени управления; распределенные системы, локальные вычислительные сети в управлении; инструментальные средства АСУ; типовые модели систем массового обслуживания; анализ эффективности управления техническими средствами.	110

ОПД.Ф.09	Физико-химические основы технологии электронных средств: роль физико-химических процессов в технологии электронных средств; химическая термодинамика технологических процессов; физико-химический анализ как метод научного исследования и обеспечения качества и эффективности производства электронных средств; основы термодинамики растворов и неравновесных систем; кинетика технологических процессов производства электронных средств, влияние температуры на скорость химических реакций; энергия и механизмы активации химических реакций, цепные и фотохимические реакции; явления и процессы на поверхности раздела двух фаз; электрохимические процессы; электрохимическая диссоциация и теория сильных электролитов; термодинамика электрохимических систем; электролиз; поляризационные процессы при электролизе; электроэррозия материалов	120
ОПД.Ф.10	Схемотехника электронных средств: основы схемотехники аналоговых устройств, эквивалентные схемы; обратная связь и ее влияние на показатели и характеристики аналоговых устройств; обеспечение и стабилизация режима работы транзисторов по постоянному току; каскады предварительного усиления; оконечные усилительные каскады; операционные усилители; активные RC-фильтры; компараторы; генераторы электрических сигналов; использование ЭВМ при проектировании аналоговых устройств;	110

	основы импульсной и цифровой схемотехники; основные цифровые устройства: триггеры, счетчики, логические устройства, регистры, запоминающие устройства, преобразователи сигналов; микропроцессорные комплексы и устройства.	
ОПД.Ф.11	Основы проектирования электронных средств: структура и классы электронных средств; факторы, определяющие построение электронных средств: факторы окружающей среды, системные факторы, факторы взаимодействия в системе "человек - машина"; конструкторское проектирование; современные и перспективные конструкции электронных средств – ячеек, модулей, блоков, шкафов; системы базовых несущих конструкций; унификация конструкций; тепловые и механические характеристики конструкций; электромагнитная совместимость; влагозащита и герметизация; радиационная стойкость электронных средств; системные критерии технического уровня и качества изделий; использование информационных технологий при проектировании электронных средств; технический дизайн при проектировании.	140
ОПД.Ф.12	Управление качеством электронных средств: методологические и теоретические основы системы управления качеством; контролепригодность конструкций электронных средств и технологических процессов их производства; проектирование тестопригодных электронных средств, их контроль и диагностика при производстве и	90

	эксплуатации; методы осуществления статистического контроля и анализа качества электронных средств; автоматизированные системы контроля и управления качеством электронных средств	
ОПД.Р.00	Национально-региональный (вузовский) компонент	150
ОПД.В.00	Дисциплины и курсы по выбору студента, устанавливаемые вузом	150
СД	Специальные дисциплины	1640
СП.01	200800 Проектирование и технология радиоэлектронных средств	
СД.01	Технология радиоэлектронных средств: моделирование и оптимизация технологических процессов; точность технологических процессов; технологичность конструкций; технология деталей радиоэлектронных средств (РЭС); пайка, сварка, склеивание; нанесение пленок и покрытий; технология печатных плат; герметизация РЭС; настройка РЭС; испытания РЭС; технологическая документация; технологическая подготовка производства; эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронных средств	220
СД.02	Интегральные устройства радиоэлектроники: основные структуры полупроводниковых интегральных схем (ИС); структуры биполярных ИС, структуры ИС на полевых транзисторах; структуры сверхбольших ИС на полупроводниках группы $A^{III}B^{V}$; элементы Джозефсона; элементы интегральной оптики; лазерные источники в интегральной оптике; акустооптическое взаимодействие и	170

	устройства на его основе; типы акустических поверхностных волн; устройства для обработки сигналов: линии задержки, резонаторы, фильтры, ответвители	
СД.03	Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств: основы автоматизированного проектирования конструкций и технологических процессов РЭС; принципы автоматизации проектирования; системы автоматизированного проектирования (САПР) РЭС; виды обеспечения САПР РЭС; технические средства САПР и их развитие; математические модели объектов проектирования; методы автоматизированного проектирования конструкций и технологических процессов различного уровня иерархии; анализ, верификация и оптимизация проектных решений средствами САПР; экспертные системы в технологии; автоматизированные системы технологической подготовки производства; комплексные интеллектуальные САПР для разработки современных конструкций и технологических процессов электронных средств; эффективность применения САПР	200
СД.04	Основы радиоэлектроники и связи: классификация и спектральные характеристики детерминированных сигналов, случайные сигналы; прохождение сигналов через линейные стационарные цепи, нелинейные цепи; генерирование гармонических колебаний; параметрические цепи; дискретная обработка сигналов;	270

	принцип оптимальной фильтрации; синтез линейных цепей; спектральный анализ; основы статистической радиотехники и теории связи; модели сигналов, помех и систем в современной теории связи; основы теории обнаружения и различения сигналов; оценка и фильтрация сигналов; синтез оптимальных сигналов; основы теории информации и кодирования.	
СД.05	Техническая электродинамика: электромагнитное поле; уравнения Максвелла; монохроматические поля; энергия электромагнитного поля; плоские, цилиндрические, сферические волны, волны в гиромагнитной среде; граница раздела сред; излучение и дифракция; волноводы, резонаторы, линии передачи, поверхностные волны и замедляющие структуры.	200
ДС.01	Дисциплины специализации	580
СП.02	220500 Проектирование и технология электронно-вычислительных средств	
СД.01	Технология электронно-вычислительных средств: основы микроэлектронной технологии; методы получения тополо-гического рисунка; сборочные процессы; технология изготовления модулей; герметизация; технология периферийных устройств; технология запоминающих устройств ЭВС; организация и моделирование технологических процессов; перспективы развития технологии; эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт электрон-но-вычислительных средств	200

СД.02	Информационные технологии проектирования электронно-вычислительных средств: основы автоматизированного проектирования конструкций и технологических процессов электронно-вычислительных средств (ЭВС); принципы автоматизации проектирования; системы автоматизированного проектирования (САПР) ЭВС; виды обеспечения САПР ЭВС; технические средства САПР и их развитие; математические модели объектов проектирования; методы автоматизированного проектирования конструкций и технологических процессов различного уровня иерархии; анализ, верификация и оптимизация проектных решений средствами САПР; экспертные системы в технологии; автоматизированные системы технологической подготовки производства; комплексные интеллектуальные САПР для разработки современных конструкций и технологических процессов ЭВС; эффективность применения САПР.	200
СД.03	Проектирование интегральных микросхем и микропроцессоров: конструкции элементов полупроводниковых интегральных микросхем (ИМС); расчет параметров конструктивных элементов и разработка топологии биполярных ИМС; конструирование ИМС на биполярных структурах; разработка конструкции и расчет параметров элементов ИМС на полевых структурах; разработка топологии и конструирование ИМС на полевых структурах; конструирование ИМС на	200

	биполярно-полевых структурах; конструирование и расчет пленочных резисторов, конденсаторов, индуктивностей, проводников и контактных площадок гибридных ИМС; компоненты гибридных интегральных схем (ГИС); разработка, расчеты конструкции и топологии ГИС; конструирование СВЧ ГИС; конструкции биполярных транзисторов, диодов и резисторов; проектирование топологии больших интегральных схем (БИС); САПР БИС; кремниевая компиляция; конструирование микросборок (МСБ) цифровых устройств; разработка конструкции и топологии ГИС и МСБ; конструкции защиты и обеспечение надежности ИМС и МСБ; технические условия и техническая документация на ИМС; перспективные конструкции изделий микроэлектроники.	
СД.04	Методы и устройства испытаний электронно-вычислительных средств: факторы, воздействующие на электронно-вычислительные средства (ЭВС) и проблемы испытаний ЭВС; основы теории испытаний ЭВС; испытания ЭВС на механические и климатические воздействия; испытания на биологические, коррозионноактивные и технологические воздействия; испытания ЭВС на космические и радиационные воздействия; испытания ЭВС на надежность; статистическая обработка результатов испытаний; автоматизация тестового диагностирования ЭВС; автоматизация и	140

	обеспечение испытаний ЭВС; информационная модель автоматизированной системы испытаний.	
СД.05	Проектирование центральных и периферийных устройств электронно-вычислительных средств: архитектура ЭВМ и вычислительной системы; структура аппаратной части; базовые параметры ЭВМ; микроконтроллеры; многокристальные и секционные микропроцессоры (МП); организация связи между МП и устройствами ввода-вывода; система прерываний; архитектура МП; язык микроопераций; форматы и системы команд МП и микропроцессорных систем; программирование МП; иерархическая структура памяти; ассоциативные, стековые, магазинные ЗУ; внутренняя память: оперативные ЗУ, постоянные ЗУ, система "головка-носитель" внешних ЗУ; накопители на магнитных дисках и лентах, винчестеры, накопители на цилиндрических магнитных доменах, на оптических носителях; виртуальная память; проектирование запоминающих устройств электронно-вычислительных средств (ЭВС); внешние серийные устройства (мониторы, плоттеры, дигитайзеры, сканеры) и устройства специализированные (речевые, читающие автоматы, голографические); устройства цифрового управления объектами; интерфейсы и системы ввода-вывода; проектирование устройств ввода-вывода информации; основы проектирования МП	270

	тенденции развития аппаратного обеспечения ЭВС.	
ДС.02	Дисциплины специализаций	630
ФТД	Факультативы	450
ФТД.01	Военная подготовка	450

Всего часов теоретического обучения 8262

1.5. Сроки освоения основной образовательной программы подготовки дипломированных специалистов по направлению “Проектирование и технология электронных средств”

1.5.1. Срок освоения основной образовательной программы подготовки инженеров при очной форме обучения составляет 260 недель, в том числе:

- теоретическое обучение, включая научно-исследовательскую работу студентов, практикумы, в том числе лабораторные, 153 недели,

а также экзаменационные сессии 16 недель;

- практики: не менее, 10 недель;

производственно-технологическая практика 4 недели,

преддипломная практика 6 недель;

- итоговая государственная аттестация, включая подготовку и защиту выпускной квалификационной работы не менее, 16 недель;

- каникулы (включая 8 недель последипломного отпуска) не менее, 38 недель.

1.5.2. Для лиц, имеющих среднее (полное) общее образование, сроки освоения основной образовательной программы подготовки инженеров по очно-заочной (вечерней) и заочной формам обучения, а также в случае сочетания различных форм обучения, увеличиваются до одного года относительно нормативного срока, установленного п. 1.1.3. настоящего государственного образовательного стандарта.

1.5.3. Максимальный объем учебной нагрузки студента устанавливается 54 часа в неделю, включая все виды его аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы.

1.5.4. Объем аудиторных занятий студента при очной форме

обучения не должен превышать в среднем за период теоретического обучения 27 часов в неделю. При этом в указанный объем не входят обязательные занятия по физической культуре и занятия по факультативным дисциплинам.

1.5.5. При очно-заочной (вечерней) форме обучения объем аудиторных занятий должен быть не менее 10 часов в неделю.

1.5.6. При заочной форме обучения, если указанная форма освоения основной образовательной программы (специальности) не запрещена соответствующим Постановлением Правительства Российской Федерации, студенту должна быть обеспечена возможность занятий с преподавателем в объеме не менее 160 часов в год.

1.5.7. Общий объем каникулярного времени в учебном году должен составлять 7-10 недель, в том числе не менее двух недель в зимний период.

1.6. Требования к разработке и условиям реализации основной образовательной программы по направлению подготовки дипломированного специалиста «Проектирование и технология электронных средств»

1.6.1. Требования к разработке основной образовательной программе подготовки инженеров.

1.6.1.1. Высшее учебное заведение самостоятельно разрабатывает и утверждает основную образовательную программу и учебный план вуза для подготовки инженеров на основе настоящего государственного образовательного стандарта.

Дисциплины “по выбору студента” являются обязательными, а факультативные дисциплины, предусматриваемые учебным планом высшего учебного заведения, не являются обязательными для изучения студентом.

Курсовые работы (проекты) рассматриваются как вид учебной работы по дисциплине и выполняются в пределах часов, отводимых на ее изучение.

По всем дисциплинам федерального компонента и практикам, включенным в учебный план высшего учебного заведения, должна

выставляться итоговая оценка (отлично, хорошо, удовлетворительно).

1.6.1.2. При реализации основной образовательной программы высшее учебное заведение имеет право:

- изменять объем часов, отводимых на освоение учебного материала: для циклов дисциплин – в пределах 5%; для дисциплин, входящих в цикл, в пределах 10%.

- формировать цикл гуманитарных и социально-экономических дисциплин, который должен включать из одиннадцати базовых дисциплин, приведенных в настоящем государственном образовательном стандарте, в качестве обязательных следующие 4 дисциплины: “Иностранный язык” (в объеме не менее 340 часов), “Физическая культура” (в объеме не менее 408 часов), "Отечественная история”, “Философия”. Остальные базовые дисциплины могут реализовываться по усмотрению вуза. При этом возможно их объединение в междисциплинарные курсы при сохранении обязательного минимума содержания. Если дисциплины являются частью общепрофессиональной или специальной подготовки, выделенные на их изучение часы, могут перераспределяться в рамках цикла.

Занятия по дисциплине “Физическая культура” при очно-заочной (вечерней), заочной формах обучения и экстерната могут предусматриваться с учетом пожелания студентов;

- осуществлять преподавание гуманитарных и социально-экономических дисциплин в форме авторских лекционных курсов и разнообразных видов коллективных и индивидуальных практических занятий, заданий и семинаров по программам, разработанным в самом вузе и учитывающем региональную, национально-этническую, профессиональную специфику, а также научно-исследовательские предпочтения преподавателей, обеспечивающих квалифицированное освещение тематики дисциплин цикла;

- устанавливать необходимую глубину преподавания отдельных разделов дисциплин, входящих в циклы гуманитарных и социально-экономических, математических и естественнонаучных дисциплин, в соответствии с профилем специальных дисциплин, реализуемых вузом;

- определять в установленном порядке наименование специализаций, объем и содержание подготовки по ним, а также форму контроля их освоения студентами;

- реализовать основную образовательную программу подготовки инженеров в сокращенные сроки для студентов высшего учебного заведения, имеющих среднее профессиональное образование соответствующего профиля или высшее профессиональное образование. Сокращение сроков проводится на основе аттестации имеющихся знаний, умений и навыков студентов, полученных на предыдущем этапе профессионального образования. При этом продолжительность сокращенных сроков обучения должна составлять не менее трех лет. Обучение по сокращенным программам допускается также для лиц, уровень образования или способности которых являются для этого достаточным основанием.

1.6.2. Требования к кадровому обеспечению учебного процесса

Реализация основной образовательной программы подготовки дипломированного специалиста должна обеспечиваться педагогическими кадрами, имеющими, как правило, базовое образование, соответствующее профилю преподаваемой дисциплины и систематически занимающимися научной и научно-методической деятельностью; преподаватели специальных дисциплин, как правило, должны иметь ученую степень (ученое звание) и опыт деятельности в соответствующей профессиональной сфере.

1.6.3. Требования к учебно-методическому обеспечению учебного процесса

При реализации образовательной программы подготовки инженера учебный план вуза должен содержать лабораторные и практические занятия по следующим дисциплинам:

- физические основы микроэлектроники,
- инженерная и компьютерная графика,
- общая электротехника и электроника,
- основы автоматики и системы автоматического управления,
- материаловедение и материалы электронных средств,
- физико-химические основы технологии электронных средств
- метрология, стандартизация и технические измерения,

- схемотехника электронных средств,
- основы проектирования электронных средств.

Реализация основной образовательной программы подготовки дипломированного специалиста должна обеспечиваться доступом каждого студента к базам данных и библиотечным фондам, по содержанию соответствующим полному перечню дисциплин основной образовательной программы, из расчета обеспеченности учебниками и учебно-методическими пособиями не менее 0,5 экземпляра на одного студента, наличием методических пособий и рекомендаций по всем дисциплинам и по всем видам занятий – практикумам, курсовому и дипломному проектированию, практикам, а также наглядными пособиями, аудио-, видео- и мультимедийными материалами.

В библиотечном фонде вуза должны быть следующие периодические издания:

- реферативный журнал “Электроника”,
- реферативный журнал “Радиотехника”,
- журнал “Микроэлектроника”.

1.6.4. Требования к материально-техническому обеспечению учебного процесса

Высшее учебное заведение, реализующее основную образовательную программу подготовки дипломированного специалиста, должно располагать материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов лабораторной, практической, дисциплинарной и междисциплинарной подготовки и научно-исследовательской работы студентов, предусмотренных примерным учебным планом и соответствующей действующим санитарным и противопожарным нормам и правилам.

1.6.5. Требования к организации практик

1.6.5.1. Практика проводится в сторонних организациях (учреждениях, предприятиях) по профилю специальности или на выпускающих кафедрах и в научных лабораториях вуза. Содержание практики определяется выпускающими кафедрами вуза с учетом возможностей подразделений (цех, отдел, лаборатория, научная группа и т.п.), в которых она проводится.

1.6.5.2. Производственно-технологическая практика

Целью практики является освоение опыта практической работы, применение полученных теоретических знаний при решении практических задач.

Во время производственно-технологической практики студент (в соответствии с индивидуальным заданием) должен

Изучить:

- организацию и управление деятельностью подразделения;
- вопросы планирования и финансирования разработок;
- действующие стандарты, технические условия, положения и инструкции
- по эксплуатации оборудования, программам испытаний, оформлению технической документации;
- методы выполнения технических расчетов и определения экономической эффективности исследований и разработок;
- правила эксплуатации установок, измерительных приборов и технологического оборудования, имеющегося в подразделении;
- вопросы обеспечения безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты;
- средства вычислительной техники, используемые в подразделении.

Освоить:

- методы анализа технического уровня объектов техники и технологии для определения их соответствия действующим техническим условиям и стандартам;
- методики применения исследовательской и измерительной аппаратуры для контроля и изучения отдельных характеристик материалов, приборов и устройств;
- отдельные пакеты программ компьютерного моделирования и проектирования технологических процессов, приборов и систем;
- порядок и методы проведения патентных исследований;
- порядок пользования периодическими, реферативными и информационно-справочными изданиями по профилю специальности.

1.6.5.3. Преддипломная практика

Имеет своей целью приобретение студентами опыта в исследовании актуальной научной проблемы или решении реальной инженерной задачи. Во время преддипломной практики студент в соответствии с индивидуальным заданием должен:

Изучить:

- проектно-технологическую документацию, патентные и литературные источники для их использования при выполнении выпускной квалификационной работы;
- назначение, состав, конструкцию, принцип работы, технологию изготовления, условия монтажа и технической эксплуатации проектируемых изделий, приборов или объектов;
- методы исследования, проектирования и проведения экспериментальных работ;
- методы и средства компьютерного исследования и проектирования, необходимые при разработке приборов, материалов и устройств или их технологии в соответствии с заданием на выпускную работу;
- отечественные и зарубежные объекты техники и технологии, являющиеся аналогами разработки;

Выполнить:

- анализ, систематизацию и обобщение научно-технической информации по теме работы;
- технико-экономическое обоснование задания на объект разработки;
- измерение параметров или экспериментальное исследование объектов–аналогов с целью модернизации или создания новых видов техники, материалов или технологий;
- математическое или натурное моделирование разрабатываемых структур, приборов или технологических процессов;
- анализ мероприятий по безопасности жизнедеятельности, обеспечению экологической чистоты, защите интеллектуальной собственности.

За время преддипломной практики студент должен в окончательном виде сформулировать тему выпускной

квалификационной работы и обосновать целесообразность ее разработки.

1.6.5.4. Аттестация по итогам практик проводится на основании оформленного в соответствии с установленными требованиями письменного отчета и отзыва руководителя практики. По итогам аттестации выставляется оценка (отлично, хорошо, удовлетворительно).

1.7. Требования к уровню подготовки дипломированного специалиста по направлению «Проектирование и технология электронных средств»

1.7.1. Требования к профессиональной подготовленности выпускника.

Выпускник должен обладать профессиональными знаниями и умениями, которые необходимы ему при решении задач, соответствующих его квалификационной характеристике, указанной в п. 1.1.4. настоящего государственного стандарта.

Выпускник должен:

Знать:

- методические и нормативные материалы по проектированию электронных средств и технологии их производства;
- технические характеристики и экономические показатели лучших отечественных и зарубежных конструкций электронных средств и технологий их производства;
- методы конструкторско-технологического проектирования электронных средств;
- применяемые в конструкциях материалы и их свойства;
- основы экономики, организации труда и управления;
- основы трудового законодательства, правила и нормы охраны труда;
- расчетные методы анализа и синтеза аналоговой и цифровой схемотехники;
- современные системы автоматизированного проектирования электронных средств;
- современные технологические процессы производства

электронных средств;

- современные пакеты прикладных программ по различным аспектам проектной деятельности;
- конструктивное и функциональное исполнение современных и перспективных электронных средств;
- основные принципы построения гибких автоматизированных производственных систем и робототехники;

Уметь применять:

- методику анализа технического задания на разработку электронных средств;
- методы проектирования электронных средств и технологических процессов их производства в соответствии с требованиями технического задания;
- стандарты по проектированию и технологии электронных средств;
- системы автоматизированного проектирования;
- типовые технологические процессы для изготовления электронных средств;
- специальную литературу и другие информационные издания (в том числе на иностранном языке) для решения профессиональных задач.

Дополнительные требования к специальной подготовке инженера определяются вузом с учетом особенностей специализации и потребностей региона.

1.7.2. Требования к итоговой государственной аттестации выпускника

1.7.2.1. Общие требования к итоговой государственной аттестации

Итоговая государственная аттестация инженера включает в себя защиту выпускной квалификационной работы и государственный экзамен.

Итоговые аттестационные испытания предназначены для определения практической и теоретической подготовленности инженера к выполнению профессиональных задач, установленных настоящим государственным образовательным стандартом.

Аттестационные испытания, входящие в состав итоговой государственной аттестации выпускника, должны полностью соответствовать основной образовательной программе высшего профессионального образования, которую он освоил за время обучения.

1.7.2.2. Требования к выпускной квалификационной работе дипломированного специалиста.

Выпускная квалификационная работа инженера (дипломная работа или дипломный проект) должна представлять собой законченную научно-исследовательскую, проектную или технологическую разработку, связанную с решением актуальных задач, определяемых особенностями подготовки по конкретной специальности направления “Проектирование и технология электронных средств”.

Дипломная работа (проект) должна быть представлена в форме рукописи.

Требования к содержанию, объему и структуре дипломной работы (проекта) определяются высшим учебным заведением на основании Положения об итоговой государственной аттестации выпускников высших учебных заведений, утвержденного Минобразованием России, государственного образовательного стандарта по направлению “Проектирование и технология электронных средств” и методических рекомендаций УМО по образованию в области автоматики, электроники, микроэлектроники и радиотехники.

Время, отводимое на подготовку квалификационной работы, составляет не менее 16 недель.

1.7.2.3. Требования к государственному экзамену

Порядок проведения и программа государственного экзамена по специальностям, относящимся к направлению подготовки дипломированных специалистов “Проектирование и технология электронных средств”, определяются вузом на основании методических рекомендаций и соответствующих примерных программ, разработанных УМО по образованию в области автоматики, электроники, микроэлектроники и радиотехники,

Положения об итоговой государственной аттестации выпускников высших учебных заведений, утвержденного Минобразованием России, и настоящего государственного образовательного стандарта.

2. ГЛАВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ВГТУ

2.1. Рождение многопрофильного технического вуза

Победоносно завершилась Великая Отечественная война против фашистской Германии, длящаяся почти четыре года. Но еще 25 января 1943 года Воронеж, разрушенный на 94% был, освобожден от оккупантов. Началось восстановление энергетики, коммунального хозяйства и промышленности. В течение четвертой пятилетки развития народного хозяйства страны (1946-1950 года) Воронеж не только восстановил свои довоенные мощности по энергетике и промышленности, но и приступил к строительству новых заводов.

В ближайшие десять лет планировалось построить мощнейшую Нововоронежскую АЭС, завершить формирование специфических для Воронежа научно-промышленных комплексов: машиностроительного, авиационно-космического, радиоэлектронного, электроэнергетического. Для создания этих наукоемких производств требовались тысячи специалистов с высшим образованием.

Функционировавшие в Воронеже учебно-консультационные пункты (УКП) Всесоюзного заочного машиностроительного и Всесоюзного заочного политехнического институтов в связи с отсутствием материальной базы не могли успешно решить эту задачу. Для молодых специалистов по распределению из других вузов страны требовалось жилье, которого катастрофически не хватало. Добавим к этому, что в Воронеже уже назрела серьезная социальная проблема – получение выпускниками средних школ высшего технического образования не выезжая из города, которое в те годы было самым востребованным и престижным. Оно обеспечивало работу по избранной специальности, уверенное продвижение по службе, относительно высокую оплату труда, особенно на оборонных предприятиях.

Руководители предприятий стали настойчиво ходатайствовать перед обкомом партии, отраслевыми министерствами и Министерством высшего образования СССР об открытии в Воронеже машиностроительного института, хотя бы только с вечерней формой обучения, обязуясь оборудовать за счет своих фондов учебные лаборатории, выделять в необходимом количестве жилье для профессорско-преподавательского состава.

В ноябре 1955 года Воронежский обком КПСС, возглавляемый Н.Г. Игнатовым, направил в правительство мотивированное ходатайство об открытии в Воронеже вечернего машиностроительного института, в котором, в частности, говорилось: *«Заводы города Воронежа испытывают острую нужду в инженерных кадрах. Большинство руководящих должностей на крупных заводах занято лицами не имеющих высшего образования. Одновременно с этим на предприятиях г.Воронежа имеется большое количество лиц, окончивших среднюю школу и техникумы, желающих получить высшее образование без отрыва от производства».*

И только в августе 1956 года Совет Министров СССР издал распоряжение, а Минвуз СССР – приказ об открытии в Воронеже вечернего машиностроительного института (ВВМИ).

Жизнь, конечно, внесла свои коррективы по отдельным пунктам этих директивных документов, но важное историческое событие – открытие многопрофильного технического вуза в интересах промышленных предприятий Воронежского региона – не только произошло, но и стало началом становления крупнейшего в России высшего технического учебного заведения. При этом было пройдено несколько этапов его развития и совершенствования. В 1958 году ВВМИ был преобразован в Воронежский вечерний политехнический институт (ВВПИ), которым в 1962 году стал именоваться Воронежским политехническим институтом (ВПИ), с дневной, вечерней и заочной формами обучения. Наконец, уже в постсоветский период истории России – в 1993 году ВПИ был переименован в Воронежский государственный технический университет (ВГТУ), оставшись, по сути, политехническим.

2.2. Воронежский вечерний машиностроительный институт (28.08.1956 – 17.07.1958)

Деятельность института началась с формирования руководства. Приказом МВО СССР от 5 сентября 1956 года № 570-К исполнение обязанностей директора института было возложено на Александра Васильевича Чуброва.

В приказе по ВВМИ №1 от 10.09.1956 года, подписанном А.В. Чубровым, было объявлено: «С 5 сентября сего года приступил к исполнению обязанностей директора института».

Приказом №2 от 12.09.1956 года главным бухгалтером ВВМИ был назначен Георгий Александрович Фокин.

Приказом №3 от 12.09.1956 года исполнение обязанностей заместителя директора института по административно-хозяйственной работе было возложено на Василия Федоровича Шлыкова.

В сентябре 1956 года были приняты: на должность заведующего канцелярией – Варвара Федоровна Зотова, инспектора по кадрам – Евдокия Семеновна Кузьмина, диспетчера – Вера Дмитриевна Гребенникова, секретаря учебной части – Таисия Федоровна Чеботарева. В ноябре секретарем директора стала Вера Михайловна Белых.

В октябре 1956 года начала работать библиотека под руководством старшего библиотекаря Анны Григорьевны Сиухиной.

Одновременно с руководством института начал формироваться профессорско-преподавательский и учебно-вспомогательный персонал.

Первым преподавателем в институте стал старший преподаватель истории КПСС, кандидат исторических наук Алексей Федорович Ненахов, зачисленный без конкурса (19.09.1956 – 01.09.1957).

Первым старшим лаборантом (физической лаборатории), материально-ответственным лицом с 19.09.1956 года стала работать Ангелина Григорьевна Артеменко.

В октябре 1956 года, в институт были приняты: преподавателем общей химии (0,5 ставки) – к.х.н., доцент Алевтина Прокопьевна Перова, преподавателем по начертательной геометрии (0,5 ставки) –

Николай Владимирович Корзун, преподавателем высшей математики (0,5 станки) – Василий Петрович Тарабрин.

В ноябре 1956 года были оформлены на работу: преподаватель химии Нина Николаевна Пестушко, преподаватель английского языка (0,5 ставки) Елена Семеновна Корсунь, преподаватель высшей математики (0,5 ставки) Владимир Григорьевич Калагастов.

В декабре 1956 года были оформлены на работу: преподаватель английского языка (0,5 ставки) Зоя Ивановна Лапочкина, преподаватель физики (0,5 ставки) по совместительству – к.т.н. Михаил Иванович Щевелев.

Они были первыми, принявшими на себя многочисленные хлопоты по организации учебного, научного и воспитательного процесса.

Некоторые из них уже в первые годы сыграли значительную роль в становлении молодого института, став заведующими кафедрами – М.И. Щевелев (физики), А. П. Перова (общей химии), Е.С. Корсунь (иностранных языков), руководителями общественных организаций: партийной – Е.С. Кузьмина, профсоюзной – В.Ф. Зотова, комсомольской – П.Н. Пестушко.

Первая в истории института приемная комиссия была создана приказом № 7 от 22 сентября 1956 года. Председателем ее был директор А.В. Чубров, ответственным секретарем – А.Ф.Ненахов, членам: К.П. Стаев – к.т.н. представитель МВО СССР, Е.С. Кузьмина – инспектор по кадрам, В.Н. Гребенникова – диспетчер института. Предметные экзаменационные комиссии возглавляли преподаватели педагогического института: по русском языку и литературе – О.М. Чеснокова, по математике – К. С. Коптев, по Физике – М.И. Щевелев, по химии – Н.Н. Хитрова.

Вступительные экзамены были проведены с 1 по 15 октября в здании педагогического института. Из 700 человек абитуриентов в число студентов 1-го курса вечернего отделения было зачислено 206 человек.

На механико-технологический факультет по специальностям: «Технология машиностроения, станки и инструменты» в группу Т11 – 26 человек, Т12 – 25 человек; «Машины и технология обработки

металлов давлением» в группу Д11 – 26 человек; «Машины и технология литейного производства» в группу Л11 – 27человек.

На авиационный факультет по специальностям: «Авиационные двигатели» в группу АД11 – 25 человек, «Самолетостроение» в группу С11 – 25 человек, «Конструирование и технология производства радиоаппаратуры» в группу Р11 – 26 человек.

В связи с огромной потребностью в инженерах-радистах, по просьбе воронежских предприятий, с разрешения МВО СССР, был осуществлен дополнительный набор студентов из числа абитуриентов, сдавших вступительные экзамены, в группу Р12 – 26 человек.

В первом 1956/57 учебном году институт был размещен в здании бывшего педучилища по ул. Коммунаров, 36, площадью 1079 квадратных метров.

Действенную помощь в подготовке первого учебного года институту оказал Московский вечерний машиностроительный институт. Приказом МВО СССР от 22 ноября 1955 года объявлена благодарность профессорско-преподавательскому составу МВМИ и персонально – доценту, к.т.н. К. П. Стаеву.

В декабре 1956 года впервые при ВВМИ были организованы подготовительные курсы на самоокупаемости по подготовке к сдаче вступительных экзаменов с контингентом слушателей 200 человек. Ответственность за организацию курсов была возложена на А.Ф. Ненахова. В январе 1957 года на базе крупных предприятий Воронежа для подготовки к вступительным экзаменам было формировано восемь групп численностью от 20 до 30 человек.

В мае 1957 года введена должность заведующего библиотекой, на которую был принят Николай Петрович Гуляев, а в июне создан библиотечный совет с председателем В.Н. Гребенниковой (диспетчер учебной части).

Итак, первый учебный год завершился при численности студентов около 200 человек, преподавателей – 12 человек, из них штатных только 4.

В августе 1957 года институт получил новое, строящееся для Воронежского авиационного техникума, здание площадью 5000

квадратных метров (ныне корпус №2 по ул. Плехановская, 11).

В связи с этим было разрешено увеличить прием студентов на 1-ый курс до 225 человек, принять на 3-ий курс 50 человек из студентов УКП ВЗПИ, увеличить штат преподавателей до 22 человек.

15 ноября 1957 года директор института А.В. Чубров был освобожден от занимаемой должности в связи с избранием его секретарем Воронежского горкома КПСС. Временно исполнение обязанностей директора было возложено на Виктора Федоровича Пушкарева. 5 апреля 1958 года приказом МВО СССР №93-К директором ВВМИ был назначен к.т.н., доцент Петр Николаевич Житков.

2.3. Воронежский вечерний политехнический институт (17.07.1958 – 19.06.1962)

В целях дальнейшего улучшения и упорядочения подготовки инженерных кадров без отрыва от производства и в связи с наличием в Воронеже вечернего машиностроительного института, располагающего необходимой материальной базой и профессорско-преподавательскими кадрами, 4 июля 1958 года МВО СССР своим приказом №723 реорганизовало УКП ВЗПИ и заочный факультет ВВМИ.

Приказом директора ВВПИ П.Н. Житкова от 5 августа 1958 года бывший заведующий Воронежским УКП Иван Яковлевич Шаповалов был назначен с 1 августа 1958 года исполняющим обязанности декана заочного факультета по совместительству с работой старшего преподавателя.

С разрешения СМ СССР от 7 июля 1958года министр высшего образования СССР В. Елютин приказом №766 от 17 июля 1958 года переименовал ВВМИ в Воронежский вечерний политехнический институт, мотивируя это введением подготовки инженеров по новым специальностям, изменяющим общий профиль вуза. В этом же месяце было принято по акту в ВВПИ хозяйственное имущество и книжный фонд УКП ВЗПИ.

Новый 1958/59 учебный год начался в институте, уже получившем статус пока еще вечернего, но уже политехнического. На

основании решения приемной комиссии на первый курс было зачислено 595 студентов.

Резкое увеличение контингента студентов и номенклатуры специальностей сопровождалось адекватным увеличением численности профессорско-преподавательского состава ВВПИ, развитием его структуры и материальной базы.

Знаковым событием, определившим статус нынешнего ВГТУ, явилось открытие с 1960/61 учебного года дневного обучения студентов. Приказом по ВВПИ №250 от 25.08.1960 года были зачислены на первый курс дневного обучения по специальностям:

- конструирования и технология производства радиоаппаратуры – 50 человек;
- радиотехника – 47 человек;
- самолетостроение – 47 человек.

25 марта 1961 года СМ СССР утвердил новое Положение о вузах, в соответствии с которым директора и заместители вузов стали именоваться соответственно ректорами и проректорами.

Последний в истории ВВПИ 1961/62 учебный год был отмечен важнейшими событиями, по сути, завершившими подготовку к переходу института от вечернего к дневному.

В начале сентября завершилась передача Воронежскому технологическому институту студентов химико-технологических специальностей – ТООС и СК, ТР, ПТ, МиАХП.

30 октября 1964 года МВиССО утвердило Положение о Совете высшего учебного заведения, главной задачей которого определялось объединение усилий всего коллектива по обеспечению высокого качества подготовки специалистов, дальнейшему развитию научных исследований и воспитанию студентов. В составе совета: ректор (председатель), деканы, заведующие кафедрами, библиотекой, представители партийной, профсоюзной и комсомольской организации, руководители научных подразделений вуза, а также крупные ученые и специалисты промышленности.

2.4. Воронежский политехнический институт (19.06.1962 – 22.11.1993)

Во исполнение Постановления ЦК КПСС и СМ СССР от 21 апреля 1962 года №374, СМ РСФСР от 12.05.1962 года №616 и приказа Росминвуза от 19 июня 1962 года №453 «О мерах по дальнейшему увеличению подготовки специалистов по радиоэлектронике и электронной технике в РСФСР» на базе ВВПИ был организован Воронежский политехнический институт с дневной, вечерней и заочной формами обучения, с разрешением строительства учебно-лабораторного корпуса объемом 60 тыс.кубометров и студенческого общежития.

Приказом ректора П. Н. Житкова от 29 июня 1962 года №394 эти документы были обнародованы, а всем руководителям учебных, научных, хозяйственных служб были даны конкретные поручения по их реализации.

Это новое направление в профиле института и коренное изменение его статуса потребовали адекватных изменений в кадровой политике.

Приказом Росминвуза от 20 июля 1962 года П.Н. Житков назначается ректором Воронежского лесотехнического института.

Приказом Росминвуза от 2 августа 1962 г. №286/К ректором ВПИ назначается Валентин Семенович Постников.

Первые годы работы ВПИ проходили в обстановке динамичного развития промышленности Воронежского региона. Этому способствовало преобразование Воронежского совнархоза в декабре 1962 года в совнархоз Центрально-Черноземного экономического района (ВЦЧЭР) с центром в городе Воронеже. В ведении совнархоза ЦЧЭР сосредоточились огромные производственные мощности и финансовые ресурсы, а так как только ВПИ готовил кадры для промышленных предприятий ЦЧЭР, то и помощь ему в развитии стала более ощутимая.

В сентябре 1962/1963 учебного года контингент студентов составил 5144 человек, в том числе дневников – 1306, вечерников – 2320, заочников – 1518 человек. Численность ППС составила – 300,5 ставок. Институт располагался в двух учебных корпусах - №1 по

Московскому проспекту, 14 и №2 по ул. Плехановской, 11.

Главным событием 1963 года, определившим профиль и структуру вуза на многие годы вперед, было утверждение Росминвузом 29 апреля 1963 года структуры ВПИ.

В декабре 1969 года введено в эксплуатацию общежитие по ул. Ватутина, 1, площадью 2515 $м^2$, которое в 1997 году переоборудовано под учебно-лабораторный корпус №5.

В феврале 1970 года, для завершения строительства и оборудования корпуса №3, приказано всем факультетам института выделять студентов всех курсов по одному дню в неделю с отрывом от учебного процесса с 16 февраля по 20 мая. Начиная с 1970/1971 учебного года в новом корпусе №3 распределены помещения между факультетами РТФ и ЭТФ и другими подразделениями вуза. В сентябре 1979 года начато освоение нового корпуса №4 на 9-ом км. Задонского шоссе, в котором разместились ОКБ «Феррит», некоторые кафедры и службы института.

11 сентября 1992 года вышло распоряжение Правительства РФ №169-Р, ставшее основанием для переименования ВПИ в Воронежский государственный технический университет (ВГТУ).

2.5. Воронежский государственный технический университет (22.11.1993 – настоящее время)

22.11.1993 года приказом Госкомвуза РФ №364 в соответствии с постановлением Правительства РФ от 16.06.1993 года №549 Воронежский политехнический институт переименован в Воронежский государственный технический университет (ВГТУ). В декабре 2001 года утверждена и зарегистрирована новая, действующая в настоящее время редакция Устава ВГТУ. В апреле 2003 года приказом Минобразования России от 21.04.03 №1719 ВГТУ выдана новая лицензия на право осуществления образовательной деятельности, выдано свидетельство о государственной аккредитации и установлена предельная численность контингента обучающихся на очной форме обучения – 9500 человек. 30.08.2004 года конференция трудового коллектива на основании Федерального Закона «О высшем

и послевузовском профессиональном образовании» утвердила должность президента ВГТУ.

Решением конференции педагогических, научных и других категорий работников и обучающихся ВГТУ от 30.06.2006 года ректором университета избран Владимир Романович Петренко. 29 сентября 2006 года Ученым Совтетом вуза президентом ВГТУ избран заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор, ректор ВПИ-ВГТУ с 1983 по 2006 год Вадим Николаевич Фролов. В сфере деятельности президента – координация взаимодействия университета с органами государственной власти РФ и региона, международными, творческими и другими организациями, а также стратегия комплексного развития университета.

2.6. Административная структура ВГТУ

Ученый Совет ВГТУ

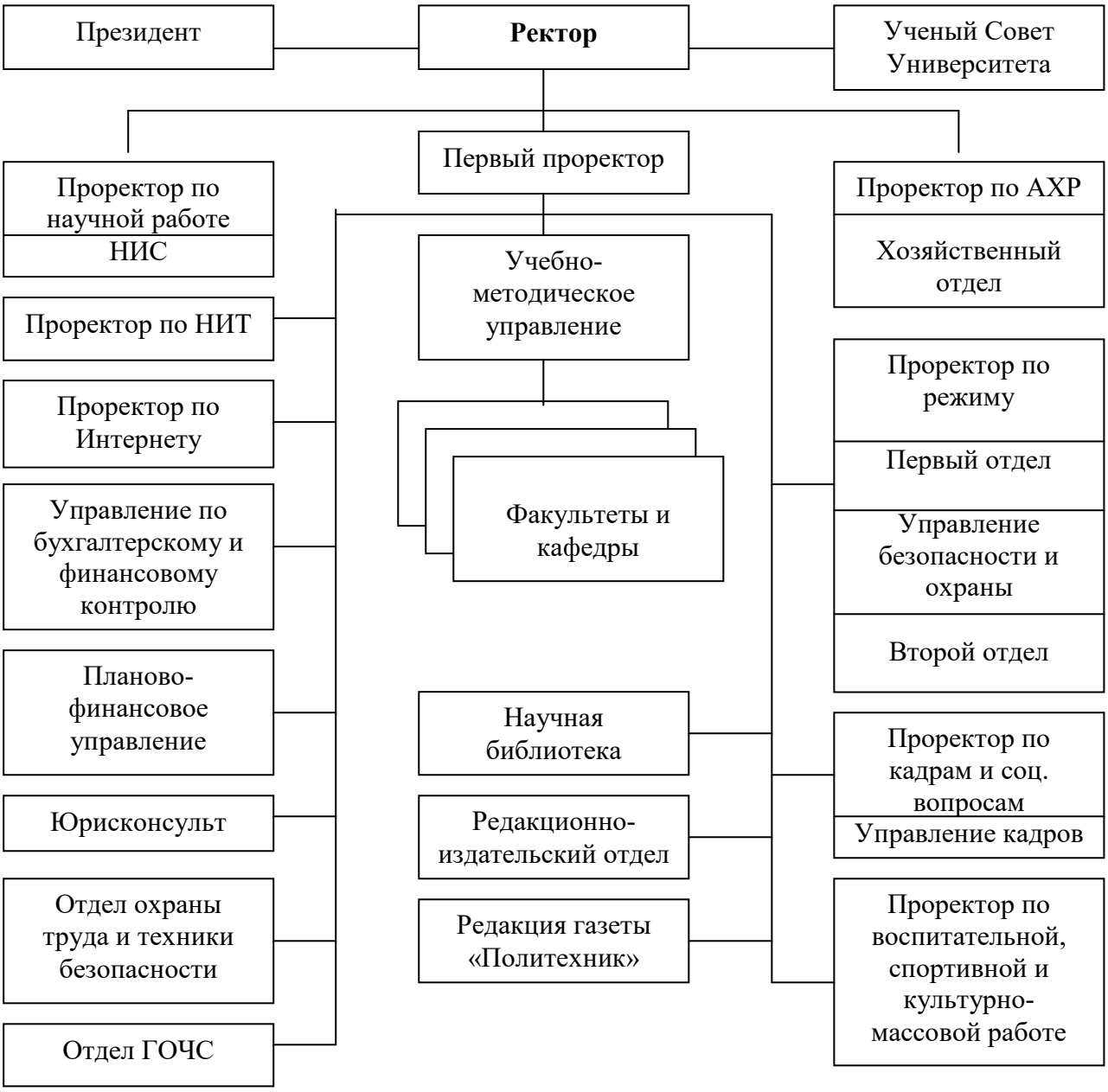
В соответствии с Уставом Воронежского государственного технического университета общее руководство университета осуществляет выборный представительный орган – Ученый Совет вуза. В составе Ученого Совета по должности входят ректор, который является его председателем, проректоры и деканы факультетов. Другие члены Совета избираются тайным голосованием конференцией трудового коллектива университета.

Ученый совет университета:

- формирует программы учебной, научной, хозяйственной, производственно-коммерческой деятельности и социально-экономического развития;
- создает, реорганизует и ликвидирует факультеты, кафедры и другие структурные подразделения;
- избирает деканов факультетов и заведующих кафедрами, осуществляет конкурсный отбор профессоров и доцентов;
- представляет к ученому званию профессоров и доцентов, присваивает ученое звание старшего научного сотрудника, утверждает темы диссертационных работ;
- определяет правила приема, порядок назначения стипендий студентам и аспирантам;

- определяет направления подготовки специалистов, переподготовки и повышения квалификации научно-педагогических кадров;

- контролирует организацию и оплату труда, финансово-хозяйственную деятельность, безопасность жизнедеятельности.



Службы управления вузом

Управление кадров

В соответствии с положением об управлении кадров в его составе:

- отдел по работе с профессорско-преподавательским составом;

- отдел по работе с научным, управленческим и административно-хозяйственным персоналом;

- отдел по работе с диссертационными советами;

- специалист по кадрам (трудоустройство молодых специалистов);

- специалист по кадрам (оформление и выдача дипломов об окончании вуза).

Управление бухгалтерского учета и финансового контроля

В структуре управления бухгалтерского учета и финансового контроля были утверждены:

- расчетно-кассовый отдел;

- материальный.

Планово-финансовое управление

Главные задачи управления:

- перспективное и текущее планирование подготовки специалистов по профилю вуза;

- планирование и организация деятельности вуза;

- составление перспективных и ежегодных планов по труду, смет расходов по всем видам деятельности;

- обеспечение совместно с бухгалтерией и другими подразделениями вуза правильного и эффективного использования денежных средств, выделяемых на содержание вуза.

Научная библиотека ВГТУ

По данным на 2007 год в организационную структуру библиотеки входит 8 отделов, 52 штатных сотрудника. Ежегодно библиотеку посещают более 14 тысяч читателей. Книговыдача составляет более 1 млн. документов на 6 абонементах (в т. ч. МБА) и 2 читальных залах. Универсальный по своему содержанию фонд насчитывает более 800 тыс. экз. и позволяет удовлетворять большой диапазон читательских запросов. В 1994 году приказом Госкомитета РФ по высшему образованию по показателям работы библиотека отнесена к 1-й категории.

Библиотека располагает локальной компьютерной сетью. Пользователям открыт удаленный доступ к мировым ресурсам,

функционирует электронная почта. Компьютеризация библиотечно-библиографичексих процессов осуществляется на базе АИБС MARK-SQL 1.7 (НПО «Информ-система»). Число записей в базах данных, генерируемых библиотекой, превышает 30 тысяч названий, с 1994 года создается электронный каталог. С 2002 года создается полнотекстовая база внутривузовских документов. Подсистема «Книгообеспеченность» позволяет получить информацию по обеспеченности литературой каждой учебной дисциплины.

Редакционно-издательский отдел

РИО является одним из основных структурных подразделений университета. В состав РИО входит участок оперативной полиграфии. Основной задачей РИО является осуществление редакционно-издательской деятельности университета – издание учебной, научной и учебно-методической литературы, отвечающей требованиям Государственного образовательного стандарта. РИО является одним из основных источников пополнения учебного фонда научной библиотеки университета.

Научная деятельность университета отражается в публикации результатов научно-исследовательских работ, проводимых по 12-ти научным направлениям университета, в центральных журналах, монографиях, межвузовских сборниках научных трудов.

Редакционно-издательский отдел университета издает журналы, включенные в список ВАК РФ, по материалам кандидатских и докторских диссертаций.

Редакция газеты «Политехник»

Первый номер газеты «Политехник» вышел 28 апреля 1963 года. Позади дистанция длиною в сорок с лишним лет. Наша вузовская многотиражка была разной, как и годы, прожить нашим университетом. Но у нее всегда было свое лицо, свое имя которое никто и никогда не собирался менять.

Не так то это просто - исполнять серьезную роль ответственного комментатора местного значения. Но у «Политехника» было и остается преимущество перед областными и центральными газетами – близость к читателю. Все эти годы «Политехник», как чуткий стетоскоп, прислушивался к пульсу жизни университета,

информировал читателей обо всем, что происходит в нашем вузе.

Отдел охраны труда

Основными задачами отдела охраны труда являются: контроль за соблюдением законодательства и иных нормативных правовых актов по охране труда, организация профилактической работы по недопущению травматизма, проведение инструктажей, обучение, проверка знаний по охране труда работников учебного заведения, предоставление льгот и компенсаций лицам, занятым на работах с вредными и опасными условиями труда.

Отдел ГОЧС

В связи с увеличением количества и масштабов стихийных бедствий, техногенных аварий и катастроф возникла необходимость создания в стране современной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. И такая система появилась в Российской Федерации в 1992 году. В эту систему были включены и штабы гражданском обороны, которые в дальнейшем были преобразованы в отделы по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям. Штаб гражданской обороны ВГТУ был преобразован в отдел по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям (сокращенно «Отдел ГОЧС) приказом ректора в 2000 году.

На отдел возложены следующие задачи:

- планирование и организация мероприятий по гражданской обороне и в области защиты персонала и подведомственных объектов от чрезвычайных ситуаций;

- проведение мероприятий по поддержанию устойчивого функционирования университета в военное время и в чрезвычайных ситуациях мирного времени;

- обучение персонала способам защиты от опасностей, возникающих при ведении военных действий, а также способам защиты и действиям в чрезвычайных ситуациях мирного времени.

Административно-хозяйственная часть

Основные задачи административно-хозяйственного отдела:

- обеспечение чистоты и порядка в учебно-научно-

административных зданиях, предусмотренных правилами внутреннего распорядка ВГТУ;

- постоянное поддержание образцового санитарного состояния помещений общего пользования, административных кабинетов;

- постоянный контроль за благоустройством закрепленных помещений и принятие соответствующих мер по подготовке к началу учебного года, зимнему или летнему периодам.

Основными задачами службы главного энергетика являются обеспечение правильной эксплуатации и своевременный ремонт энергетического оборудования, а также всех систем сигнализации и связи.

Эксплуатационно-технический отдел создан с целью организации ремонта систем отопления, вентиляции, водоснабжения, канализации, газоснабжения.

Университет предоставляет иногородним студентам жилье в 2 студенческих общежитиях, которые рассчитаны на 1217 мест. По итогам ежегодного областного смотра-конкурса студенческих общежитий Воронежа, общежитие №3 в 2003 году заняло третье место, а в 2004 году - второе.

Для эксплуатации транспорта ВГТУ создана группа, в которую

входят руководитель группы – заведующий гаражом, механик, водители, автослесари, мойщики, аккумуляторщики, дворники по уборке территории гаража. Эта служба относится к службе главного инженера. Основными задачи группы является планомерный технический надзор за состоянием автотранспорта и оборудования, обеспечение надежности и бесперебойности работы, участие в разработке перспективных планов развития материально-технической базы университета.

Отдел материально-технического снабжения является основным подразделением по обеспечению вуза материальными ресурсами.

Общий отдел

Общий отдел образован 15 февраля 1993 года для делопроизводственного обслуживания. В состав отдела вошли: служба делопроизводства, архив, машинописное бюро и телетайпная служба.

Служба делопроизводства осуществляет учет и регистрацию документов. Архив производит прием, учет, хранение и использование дел, законченных делопроизводством. Машинописное бюро осуществляет работу по перепечатке служебных документов. Телетайп обеспечивает оперативную связь с министерством и другими абонентами.

Службы режима и безопасности

Первый отдел под наименованием «Спецчасть» был организован в самом начале работы ВВМИ для защиты государственной тайны.

Управление безопасности и охраны организовано в 1985 году для обеспечения охраны объектов и общественного порядка.

Второй отдел был организован в 1971 году в связи с увеличением плана приема студентов в следующем составе: начальник отдела, старший инспектор и инспектор по воинскому учету и бронированию.

Основные задачи второго отдела:

- обеспечение исполнения гражданами воинской обязанности, установленной федеральными законами: «Об обороне», «О воинской обязанности и военной службе», «О мобилизационной подготовке и

мобилизации в Российской Федерации»;

- документальное отражение сведений воинского учета о гражданах, состоящих на воинском учете.

3. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

В соответствии с утвержденной структурой ВПИ приказом по институту № 452 от 25 декабря 1960 года из состава авиационного факультета были выделены специальности РТ, КИПРА, ЭМА, АТ дневной и вечерней форм обучения и организован радиотехнический факультет. Первым деканом его стал к.х.н., доцент В.Е. Антипов, а с 1961 по 1963 год – д.т.н., профессор З.М. Каневский.

В связи с образованием в 1963 году самостоятельного ЭТФ на радиотехническом факультете остались специальности «Радиотехника» и «Конструирование и производство радиоаппаратуры». Деканом РТФ был назначен к. т. н, доцент В.П. Сивцов.

В декабре 1964 года в ВПИ был организован вечерний РТФ под руководством к.т.н., доцента В. В. Максимовича.

Для подготовки специалистов вначале, в 1960 году, была организована кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры, а в 1961 году – радиотехники.

В последующие годы возникла необходимость образования новых кафедр: радиоприемных устройств (1964 год), радиотехнических систем (1970 год), материалов, элементов радиоэлектронной аппаратуры (1981 год) и систем автоматизированного проектирования (1984 год). В 1996 году кафедра САПР переведена на ЕГФ. В 1999 году на базе кафедр материалов и элементов радиоэлектронной аппаратуры и радиотехнических систем образована кафедра радиоэлектронных устройств и систем. Кафедра радиоприемных устройств была переименована в кафедру приема и обработки сигналов, а в 1999 году в кафедру систем информационной безопасности.

В последующие годы факультет возглавляли профессора Ю.С. Балашов (1969-1974), Г.В Макаров (1978-1979) и доценты Я.А. Арест (1964), Н.Е. Ефанин (1964-1969), А.М Донец (1974-1978, 1981-1984),

Б.В. Матвеев (1979-1980), А.З. Завадовский (1984-1987). С 1987 года и по настоящее время факультет успешно возглавляет д.т.н., профессор А.В. Муратов.

За 43 года выпущено более 10 000 специалистов, успешно работающих в различных отраслях.

На факультете постоянно уделяется большое внимание развитию научных исследований. Кафедрами факультета выполнялись и выполняются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в интересах ОАО «Концерн «Созвездие», ОАО «Электросигнал», ОАО «Видеофон», НИИ «Вега». Благодаря высокому уровню научных исследований на факультете защищено 16 докторских и 68 кандидатских диссертаций, опубликовано более 80 монографий и учебных пособий, более 2500 статей и тезисов докладов.

Факультет успешно решает задачи подготовки высококвалифицированных инженерных кадров. Молодые специалисты, выпускаемые факультетом, пользуются большим спросом в г. Воронеже и Центрально-Черноземном регионе. Последнее десятилетие потребность в инженерных кадрах год из года возрастает, поэтому факультет с оптимизмом смотрит в свое будущее.

3.1. Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры (КИПРА)

История радиотехнического факультета началась с создания кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры», организованной в 1960 году. Организация кафедры вызвана насущной необходимостью подготовки специалистов конструкто-технологического профиля для широкой сети научно-производственных предприятий радиотехнического профиля, прежде всего самого г. Воронежа и других городов страны. Первым заведующим кафедрой КИПРА стал к.т.н., доцент В. А. Болгов, а преподавателями – старшие преподаватели В.Ф. Цабель, В.И. Золотарева. В начале 1961 года кафедру возглавил д.т.н., профессор З.М. Каневский, а с ноября этого же года заведующим кафедрой стал

к.т.н., доцент В. П. Сивцов.

Уже в 1966 году по специальности «Конструирование и производство радиоаппаратуры» обучение производилось в 11 группах, и за период с момента основания кафедры по 1966 год выпуск инженеров по ее профилю составил 380 человек.

В 1971 году заведующим кафедрой КИПРА был избран доцент, к.ф-м.н., Ю.С. Балашов, ставший затем заведующим образовавшейся кафедрой МИЭРА, а кафедру КИПРА возглавил доцент, к.ф-м.н., А.М. Донец. С 1998 года и по настоящее время кафедру успешно возглавляет профессор, д.т.н., А.В. Муратов. Кафедра ведет подготовку инженеров по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств».

3.2. Кафедра радиоэлектронных устройств и систем (РЭУС)

Кафедра создана в 1998 году в результате объединения кафедр «Материалы и элементы радиоэлектронной аппаратуры» и «Радиотехнические системы» с сохранением статуса выпускающей кафедры. Ежегодно кафедра выпускает около 60 специалистов, которые распределяются по предприятиям.

По специальности «Проектирование и технология РЭС» учебная деятельность кафедры направлена на создание физико-технологической базы проектирования радиоэлектронных средств. Это осуществляется в логической цепочке дисциплин – «Физические основы микроэлектроники» - «Физико-химические основы технологии» - «Материаловедение» - «Прикладная механика» - «Элементная база РЭС» - «Технология деталей», а также базовые дисциплины специальности «Основы радиоэлектроники и связи» и «Электродинамика и устройства СВЧ». С самого основания кафедрой заведует профессор, д.ф-м.н., Балашов Юрий Степанович.

4. ИСТОРИЯ РАДИО. ЛЕТОПИСЬ ОТ ПЕРВЫХ УПОМИНАНИЙ ДО СЕРЕДИНЫ XIX ВЕКА

«Багдадская батарея» (Baghdad Battery) создана предположительно 2000 лет назад. «Банка» найдена в Куджут-Рабу (Khujut Rabu) в окрестностях Багдада и состоит из глиняной емкости с пробкой из битума. Через пробку пропущен железный стержень, окруженный медным цилиндром. Если банку заполнить винным уксусом, то «батарея» развивает напряжение около 1,1В. Достоверных свидетельств применения «банки» не сохранилось, но ученые склоняются к мысли, что устройство могло использоваться в технологическом процессе нанесения позолоты.

Рис. 1. Багдадская батарея

В 1600 году Уильям Гильберт (William Gilbert) (1544 – 1603), английский физик и врач в труде «О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле» (1600) впервые рассмотрел магнитные и многие электрические явления. Впервые ввел в лексикон слова «электричество», «электрическая сила» и «электрическое тяготение». В сочинениях Гильберта множество наблюдений и догадок, смешанных с фантастическими объяснениями в духе средневековых алхимиков. За свои исследования Гильберт получил титул «отца электричества».

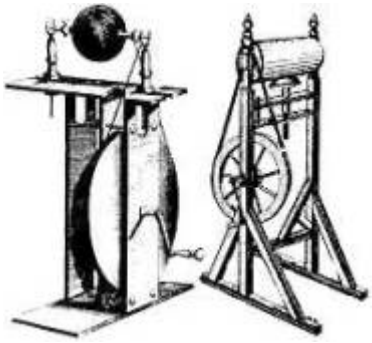


Рис. 2. «Машина влияний» Хуксби

В 1705 году Фрэнсис Хуксби (Francis Hauksbee) (1666 – 1713) создал мощный электростатический генератор, основанный на трении, так называемую «машину влияний» («influence machine»). В своих опытах он использовал

стеклянный шар.

В 1729 Стефен Грей (Gray) (1666 – 1736), английский химик, открыл явление электропроводности, установив, что электричество может передаваться от одного тела к другому по влажной бечевке на расстояние 765 футов (233 м), но не передается по шелковой нити. Первым разделил все вещества на проводники и непроводники электричества. Проводил опыты по электризации тела человека, подвешивая его на шнурах сплетенных из волос.

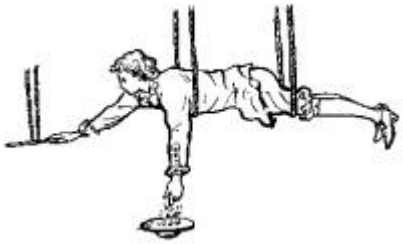


Рис. 3. Опыты по электризации Грея

В 1733 году Шарль Дюфэ (Charles-Francois Du Fay) (1698 – 1739), французский естествоиспытатель, создал первую теорию электрических явлений. Повторяя опыты Грея по электризации изолированного человеческого тела, он ложился на шелковые шнуры, и его электризовали настолько сильно, что из тела при приближении руки другого человека выскакивали искры. Установил два типа электрических воздействий: притяжение и отталкивание. Разделил электричество на два рода – «стеклянное» и «смоляное», особенностью которых было отталкивать однородное и притягивать противоположное. Например, тело, наэлектризованное «стеклянным» электричеством, отталкивает тела со «стеклянным» и притягивает со «смоляным» электричеством.

В 1745 году Питер ван Мушенбрук (Musschenbroek) (1692 – 1761), голландский физик, в Лейденском университете (Голландия) изобрел первый электрический конденсатор – «лейденскую банку».

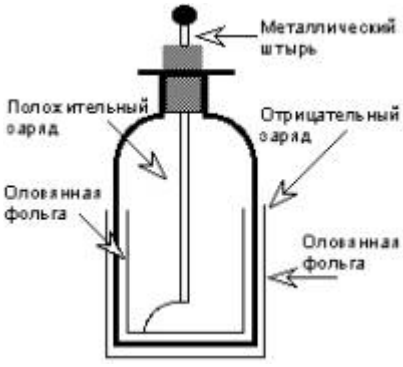


Рис. 4. Лейденская банка

«…Стеклянная банка, частично заполненная водой и закрытая пробкой. Металлический штырь, с подсоединенным к нему проводом, погружается в воду. Провод через пробку выводится наружу.

Когда провод подсоединяется к устройству, производящему статическое электричество, то банка сохраняет это электричество так, что его можно использовать в дальнейшем». Независимо от Мушенбрука такое же устройство предложил Дин фон Клейст (Dean E.J. von Kleist). Позднее Вильям Ватсон (William Watson) (1715 – 1787) и доктор Джон Бевис (John Bevis) (1693 – 1771) усовершенствовали «банку», покрыв ее внутреннюю и внешнюю стороны оловянной фольгой.

Георг Вильгельм Рихман (1711 – 1753), российский ученый, в своих опытах по электричеству впервые попытался «взвесить» электричество и определить «электрическую силу». «Совершенный электрометр, т.е. инструмент для определения электрической силы, вне всякого сомнения, может сильно способствовать развитию электрической теории. Вот почему с самого начала я сразу же стал размышлять об удобном способе определять интенсивность электрической силы. Впрочем, мне до сих пор не посчастливилось сделать совершенный электрометр, – не знаю как другим». Так самокритично и честно оценивал ученый свои работы. Для создания инструмента потребовалось более 100 лет. «…Электрическая материя неким движением возбуждаемая вокруг тела, по необходимости должна опоясывать его на некотором расстоянии. На меньшем расстоянии от поверхности тела действие ее бывает сильнее. Следовательно, при увеличении расстояния сила ее убывает по некоторому, пока еще неизвестному закону». Другими словами Рихман открыл существование электрического поля вокруг заряженного тела, которое убывает по определенному закону. Закон был открыт спустя 40 лет Кулоном.

Бенджамин Франклин (Franklin) (1706 – 1790), американский просветитель, государственный деятель, ученый, один из авторов Декларации независимости (1776) и Конституции США (1787), также известен как естествоиспытатель известен главным образом трудами по электричеству. Являясь одним из пионеров исследований атмосферного электричества в 1748 году разработал его унитарную теорию. В своем труде «Опыты и наблюдения над электричеством» Франклин писал: «Электрическая субстанция состоит из чрезвычайно

малых частиц, так как она способна проникать в обыкновенную материю, даже в самые плотные металлы, с большой легкостью и свободой, как бы не встречая при этом сколь либо заметного сопротивления». В этом же году Вильям Ватсон (William Watson) описал лучи, наблюдаемые в стеклянной трубке под воздействием электричества. Ватсон и Франклин независимо сформулировали принцип сохранения заряда: количество электричества в изолированной системе постоянно.

В 1752 Франклин экспериментально доказал, что молния имеет электрическую природу. На основании собственных экспериментов с воздушными змеями пришел к выводу, что «…как только грозовая туча окажется над змеем, заостренная проволока прикрепленная к его верхней крестовине станет извлекать из тучи электрический огонь и змей вместе с бечевой наэлектризуется… А когда дождь смочит змей вместе с бечевой, сделав их тем самым способными свободно проводить электрический огонь, вы увидите как он обильно стекает с конца бечевы при приближении вашего пальца». После этих экспериментов, Франклин устанавливает молниеотводы на своем доме и на двух общественных зданиях.

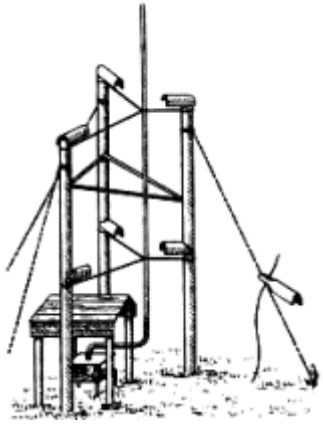


Рис. 5. Установка Франклина

В 1774 году Джордж Луи Лесаг (George Louis Lesage) продемонстрировал в Женеве (Швейцария) первый электростатический телеграф – устройство, состоящее из 24 проводов, изолированных друг от друга. К одному концу каждого провода был прикреплен шарик, двигающийся, когда к данному проводу подключают источник тока. Каждый шарик обозначал

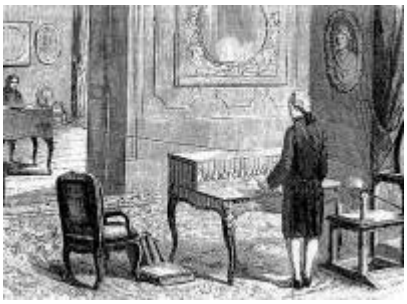


Рис. 6. Электростатический телеграф Лесага

определенную букву алфавита.

В 1784 году Шарль Огюстен де Кулон (Charles Augustin de Coulomb) (1736–1806), французский военный инженер, сконструировал крутильные весы для измерения силы магнитного и электрического притяжения. Благодаря этому изобретению Кулон сформулировал принцип, в дальнейшем известный как закон Кулона (взаимодействие электрических зарядов).

В 1791 году Луиджи Гальвани (Luigi Galvani) (1737 – 1798), итальянский врач, в «Трактате о силах электричества при мышечном движении» описал теорию «животного электричества» (которая в дальнейшем привела к открытию «гальванического электричества»). «Я разрезал и препарировал лягушку… и, имея ввиду совершенно другое, поместил ее на стол, на котором находилась электрическая машина…, при полном разобщении от кондуктора последней и на довольно большом расстоянии от него. Когда один из моих помощников острием скальпеля случайно очень легко коснулся внутренних бедренных нервов этой лягушки, то немедленно все мышцы конечностей начали так сокращаться, что казались впадшими в сильнейшие судороги. Другой же из них (помощников), который помогал нам в опытах по электричеству, заметил, как ему казалось, что это удается тогда, когда из кондуктора машины извлекается искра… Удивленный новым явлением, он тотчас же обратил на него мое внимание, хотя я замышлял совсем другое и был поглощен своими мыслями… Я сам стал трогать острием скальпеля то один, то другой бедренный нерв, в то время как один из присутствующих извлекал искру. Феномен наступал точно таким же образом». Так в цепи случайностей родилось великое открытие. Гальвани перенес препарат «в закрытую комнату, поместил на железной пластинке и стал прижимать к ней проведенный через спинной мозг крючок» при этом «появлялись такие же сокращения». Итак, нет электрической машины, нет атмосферных разрядов, а эффект наблюдается, как и прежде. Гальвани проделывает серию опытов, в том числе и опыт, когда подвешенная лапка, касаясь серебряной пластинки, сокращается, поджимаясь вверх, затем падает, вновь сокращается и

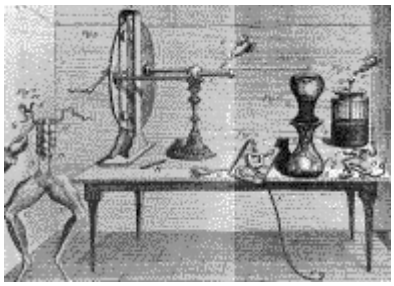


Рис. 7. Опыты Гальвани

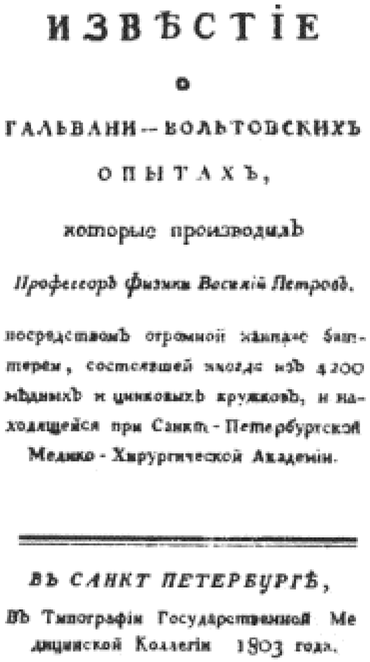
т.д. Лапка лягушки стала для Гальвани носителем «животного электричества». Он предположил, что положительное электричество находится в нерве, отрицательное – в мышце.

Благодаря исследованиям Гальвани, в 1800 году Алесандро Вольта (Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta) (1745–1827) Итальянский физик и физиолог, один из основоположников учения об электричестве. предположивший связь между количеством электричества, емкостью и напряжением, установил, что подергивание лап лягушки вызвано не «животным электричеством», а контактом разнородных металлов. А «препарированная лягушка представляет, если можно так выразится, животный электромер, несравненно более чувствительный, чем всякий другой самый чувствительный электромер». Вольт поместил пластины из цинка и меди в кислоту, чтобы получить непрерывный электрический ток. Вольт назвал свое изобретение «электрический орган». Это был первый химический источник тока на медно-цинковой паре («вольтов столб» или «батарея Вольта»).

Рис. 8. Батарея Вольта

В 1803 году Василий Владимирович Петров (1761–1834), российский физик, опубликовал работу под названием: «Известие о гальвани-вольтовских опытах, которые производил профессор физики Василий Петров посредством огромной наипаче баттереи, состоящей иногда из 4200 медных и цинковых кружков и находящейся при Санкт-Петербургской Медико-Хирургической академии». Построил самую мощную по тем временам батарею, составленную из 2100 гальванических элементов. «Баттерея» состояла из четырех рядов, каждый длиной 10 футов (ок. 3 м),

соединяемых последовательно с помощью медных скобок. Открыл электрическую дугу: «Если на стеклянную плитку или на скамеечку со стеклянными ножками будут положены два или три древесных угля, способные для произведения светоносных явлений посредством гальвано-вольтовой жидкости, и если потом металлическими изолированными направителями (directores), сообщенными с обоими полюсами огромной батареи, приближать оные один к другому на расстояние от одной до трех линий (2,1–6,3 мм), то является между ними весьма яркий белого цвета свет или пламя, от которого оные угли скорее или медленнее загораются и от которого темный покой довольно ясно освещен быть может».


ИЗВѢСТІЕ

о

ГАЛЬВАНИ-ВОЛЬТОВСКИХЪ

ОПЫТАХЪ,

которые производилъ

Профессоръ физики Василій Петровъ,

посредствомъ огромной наипаче баттереи, состоявшей иногда изъ 4200 мѣдныхъ и цинковыхъ кружковъ, и находящейся при Санктъ-Петербургской Медико-Хирургической Академіи.

ВЪ САНКТ ПЕТЕРБУРГѢ,

Въ Типографіи Государственной Медицинской Коллегіи 1803 года.

Рис. 9. Печатная работа Петрова

Петров установил зависимость силы постоянного тока от площади поперечного сечения проводника; широко применял параллельное соединение электрических цепей; проводил исследования химического действия тока и измерял электропроводность различных веществ; предложил покрывать изоляцией электрические проводники. Изучал явление электрического разряда в вакууме, исследовал явление люминесценции. Создал оригинальные электрические приборы для изучения электрических явлений в различных газовых средах. Труды Петрова остались неизвестными за рубежом. До начала XX века они были забыты и в России.

В 1820 году Андрэ Мари Ампер (Ampere) (1775–1836), французский ученый, один из основоположников и автор термина «электродинамика», вводит различие между электрическим напряжением и электрическим током. Он предложил правило, названное его именем, открыл механическое взаимодействие токов и

установил закон этого взаимодействия (закон Ампера). Сформулировав первую теорию магнетизма и исследуя электродинамические взаимодействия, пришел к выводу, что путем комбинации проводников и магнитных стрелок можно «устроить своего рода телеграф с помощью одного вольтова столба, расположенного вдали от стрелок». Так идея электромагнитного телеграфа возникла в первый же год открытия электромагнетизма.

В 1825 году Вильям Стержен (William Sturgeon) (1783 – 1850), английский инженер-электрик, создал первый электромагнит, способный поддерживать больше собственного веса. 200-граммовый электромагнит был способен удерживать 4 кг железа, используя ток одного элемента питания. В 1832 году создал электродвигатель, изобрел коллектор (неотъемлемая часть современных электродвигателей), в 1836 году создал гальванометр с подвижной катушкой. Провел более 500 опытов по исследованию атмосферы с помощью воздушных змеев и пришел к выводу, что в ясную погоду атмосфера положительно заряжена относительно Земли и заряд увеличивается с высотой.

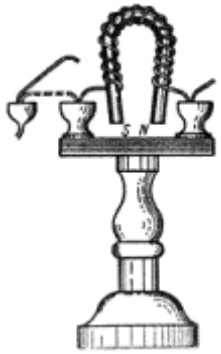


Рис. 10. Электромагнит Стрежена

В 1827 году Георг Симон Ом (Ohm) (1787 – 1854), немецкий учитель и физик, в труде «Гальваническая цепь, разработанная математически» изложил основную зависимость между напряжением, током и сопротивлением. Закон электрической цепи или закон Ома получил признание и начал входить в науку только в конце 1830-х годов.

В 1830 году Джозеф Генри (Joseph Henry) (1797 – 1878), американский физик, проводя работы по электричеству и магнетизму усовершенствовал электромагнит: «…к производству магнетизма в мягком железе, более экстенсивно, чем по моим сведениям было до этого, от маленького гальванического элемента». Увеличил обмотку электромагнита до 400 плотных витков провода длиной 35 футов,

«вместо свободной намотки вокруг этого нескольких футов провода, как обычно описывается». Исследовал различные методы намотки провода для получения электромагнита. Пришел к выводу, что если для питания используется один элемент, то катушка должна состоять из нескольких параллельных обмоток, если же напряжение выше, то эффективней использовать одну обмотку. В 1831 году он создал 59,5-фунтовый (29 кг) магнит, удерживающий гигантский по тем временам вес 2063 фунтов (936 кг). На основе притяжения и отталкивания электромагнита, в этом же году, создал колебательный электродвигатель с частотой 75 колебаний в минуту. Генри разработал и продемонстрировал прообраз электромагнитного телеграфа. Устройство состояло из батареи и электромагнита, соединенных медным проводом длиной в милю (1,85 км), протянутого по стенам лекционного зала. Между полюсами подковообразного электромагнита был помещен постоянный магнит. Когда на электромагнит подавали напряжение, постоянный магнит отталкивался от одного полюса и притягивался к другому. После изменения полярности батареи постоянный магнит возвращался в первоначальное положение. С помощью переключателя полярности питания, Генри заставлял постоянный магнит стучать по маленькому звонку. Устройство демонстрировалось на лекциях в течение 1831–1832 г.

Рис. 11. Электромагнит Генри

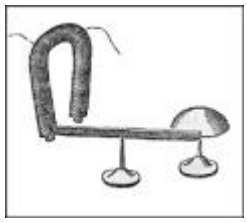


Рис. 12. «Телеграф» Генри

Майкл Фарадей (Faraday) (1791 – 1867), английский физик, основоположник учения об электромагнитном поле, обнаружил химическое действие электрического тока, взаимосвязь между электричеством и магнетизмом, магнетизмом и светом. В 1831 году открыл электромагнитную индукцию – явление, которое легло в

основу электротехники. Установил (1833 – 1834) законы электролиза, названные его именем, открыл пара- и диамагнетизм, вращение плоскости поляризации света в магнитном поле (эффект Фарадея). Доказал тождественность различных видов электричества, ввел понятия электрического и магнитного поля и высказал идею существования электромагнитных волн. Спустя 106 лет, в 1938 году, в архиве было найдено письмо Фарадея: «Новые воззрения, подлежащие в настоящее время хранению в запечатанном конверте в архивах Королевского общества». В письме содержался совершенно определенный вывод, что «на распространение магнитного взаимодействия требуется время». Ученый указал, что хотел бы проверить свои идеи экспериментально, но ввиду занятости решил передать письмо на хранение, чтобы закрепить за собой открытие фиксированной датой. В письме Фарадей писал, что «в настоящее время, насколько мне известно, никто из ученых, кроме меня не имеет подобных взглядов».

Рис. 13. Трансформатор Фарадея

В 1832 году Павел Львович Шиллинг (1786 – 1837), российский изобретатель и востоковед изобрел клавишный телеграфный аппарат, на основе которого создал систему электромагнитного телеграфа, в которой передача электрических сигналов велась особым 6-значным кодом (разработанным им же) по 8-проводной линии. Позже (1835–1836) построил систему, в которой использовался аппарат с одной индикаторной стрелкой и 2-х проводная линия. Свои изобретения в области телеграфии Шиллинг с успехом демонстрировал в 1835 году в Бонне на съезде немецкого общества естествоиспытателей и врачей. По поручению российского правительства в 1836 году проложил подземную телеграфную линию между крайними помещениями Адмиралтейства в Петербурге. В ходе работы над электроминными и телеграфными устройствами создал специальные изолированные электрические кабели. В 1837 году разработал проект подводной

линии электромагнитного телеграфа между Петергофом и Кронштадтом, однако внезапная смерть помешала осуществлению его замыслов.

В этом же, 1832 году, Ипполит Пикси (Hippolyte Pixii) (1808 – 1835), французский инструментальщик, создал первую динамо-машину переменного тока с ручным приводом. В первом варианте устройства, подковообразный магнит вращался вдоль своей оси. При вращении торцы магнита проходили вблизи двух бобин провода (катушек) на выводах которых возникал электрический ток. При подключении к динамо-машине внешнего электромагнита, он был способен удерживать вес до 6,8 фунтов (15 кг). Машина производила яркие искры, болезненные удары током, отклоняла золотые лепестки электроскопа и позволяла разлагать подкисленную воду. Французская Академия наук представила Пикси к Золотой медали и выделила средства на эксперименты. В то время переменный электрический ток практически не применялся, за исключением медицины. Пикси добавил к своему аппарату коммутатор, переключающий полярность синхронно с вращением ротора и за счет этого, позволяющий получать постоянный ток. Аппарат Пикси долгое время использовался в электротерапии. В дальнейшем магнитоэлектрические устройства получили широкое распространение, так как вырабатывали ток большей силы, чем батареи и аккумуляторы, и были более дешевы.

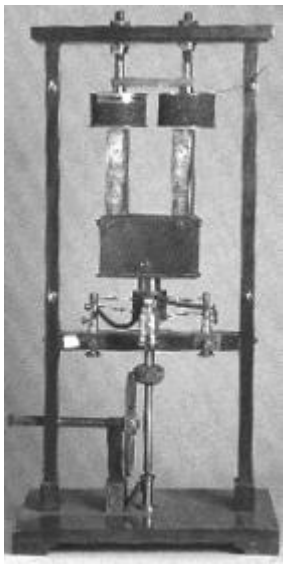


Рис. 14. Динамо-машина Пикси

10 июля 1837 года Чарльз Уитстон (Wheatstone) (1802 – 1875), английский физик и изобретатель, совместно с английским инженером-электриком Вильямом Ф. Куком (William Fothergill Cooke) запатентовали первый британский электрический телеграф, который с 1840 года стал стандартным в Англии. Этот 6-проводный,

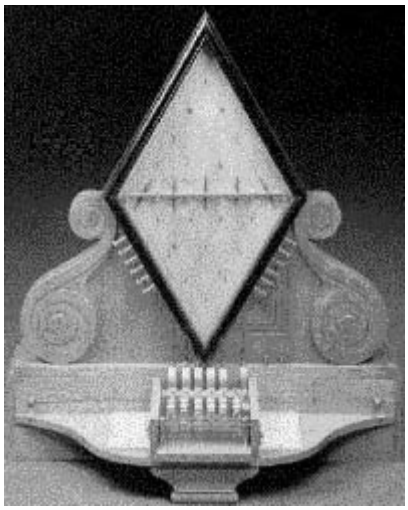


Рис. 15. Пятистрелочный телеграф Уитстона и Кука

пятистрелочный телеграф, был назван именем Уитстона. Первая экспериментальная телеграфная линия была запущена в Англии 25 июля для железнодорожной компании «Great Western Railway Company» между станциями «Euston Square» и «Camden Town» (2,4 км).

В том же 1837 году Сэмюэл Финли Бриз Морзе (Morse) (1791 – 1872), американский художник и изобретатель, запатентовал электромеханический телеграфный аппарат. А в январе 1838 года совместно с Альфредом Льюисом Вэилом (Alfred Lewis Vail) публично продемонстрировали практически пригодную телеграфную систему, используя устройства созданные Вэйлом. Электрические импульсы, переданные по проводам на расстояние 2-х миль (3,7 км), привели в действие электромагнит и на бумажной ленте точками и черточками чернил (кодом Морзе) были напечатаны символы первого телеграфного сообщения.

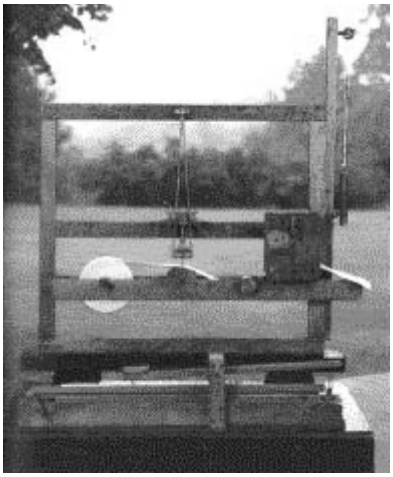


Рис. 16. Телеграфный аппарат Морзе

Чарльз Уитстон и Вильям Кук также продолжали свои изыскания в области телеграфирования и в 1838 году запатентовали 2-х стрелочный телеграф. Система была более экономична, чем предыдущая, так как требовала меньшее количество проводов. Следующим усовершенствованием стал одно-стрелочный телеграф

(1845 год) на основе принципа, предложенного Стейнхейлом (Steinheil), который в Нюрберге продемонстрировал, что телеграф может обходиться только одним проводом, используя в качестве второго проводника землю. Для передачи сообщения в одно-стрелочном телеграфе отправитель вращал колесо до тех пор, пока указатель не останавливался на нужном символе. Во время вращения аппарат формировал соответствующее число электрических импульсов, которые посылались по проводам на удаленный приемник. Указатель ведомого приемника вращался синхронно с указателем ведущего. Для передачи сообщений не требовался оператор, следовательно, отправитель мог посылать конфиденциальные сообщения. Подобный телеграф использовался в Англии почти 80 лет.

Рис. 17. Однострелочный телеграф Уитстона и Кука

В 1839 году Борис Семенович Якоби (настоящее имя Мориц Герман Якоби, родился в Германии с 1835 года российский подданный) (1801–1874), российский ученый, изобретатель и экспериментатор, приняв предложение Петербургской академии наук, был прикомандирован к комиссии для «исследования электромагнитных притяжений и законов намагничивания железа». Летом 1839 года в Санкт-Петербурге осуществил первое в мире практическое испытание электрического двигателя собственной конструкции. Двигатель питался от батареи гальванических элементов Гроува. Дав подробное описание конструкции и принципа работы двигателя, Якоби проанализировал его экономическую эффективность и пришел к выводу о нецелесообразности его применения. Паровая машина была более эффективна. Изобрел способ гальванопластики. Чтобы познакомить со своим изобретением европейских ученых, сделал гальванопластическую копию с металлической пластинки, на которой было выгравировано: «Фарадею от Якоби с приветствием» и отправил ее Фарадею в

Англию. Английский ученый прислал ответ: «Меня так сильно заинтересовало Ваше письмо и те большие результаты, о которых Вы даете мне такой обстоятельный отчет, что я перевел его и передал почти целиком издателям «Философикал мэгэзин» в надежде, что они признают эти новости важными для своих читателей...». Фарадей не ошибся. Мастерские гальванопластики стали возникать во всех странах, а отчет Якоби, представленный на Всемирной выставке 1867 года в «Записках Академии наук», оказался одним из самых популярных экспонатов. Создал телеграфный аппарат и с его помощью организовал линию связи между Зимним дворцом, Царскосельским дворцом и Главным штабом. Во время Крымской войны (1853 – 1856) разработал новый метод подрыва мин с помощью магнитоэлектрической машины.

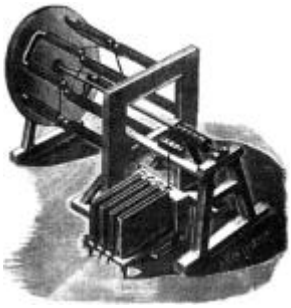


Рис. 18. Двигатель Якоби

Рис. 19. Телеграф Якоби

В 1842 году Александр Баин (Alexander Bain) (1810 – 1877), шотландский физик и изобретатель, изобрел электрический маятник и электрические часы. В 1843 году разработал и запатентовал первую примитивную факсимильную машину. В «пишущем телеграфе» (recording telegraph) использовалось перо, подсоединенное к маятнику. Отправляемый «документ» представлял собой покрытую металлом поверхность. При попадании пера на проводящую

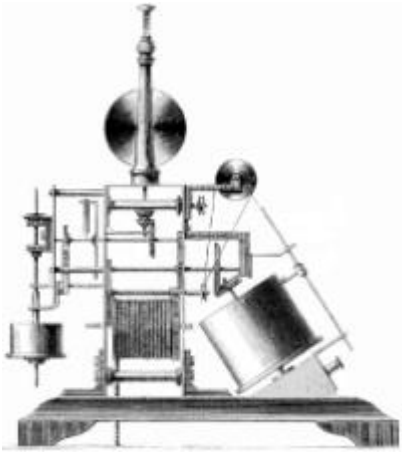


Рис. 20. «Факсимильный аппарат» Баина

(металлическую) поверхность формировался сигнал, эквивалентный светлому участку. Когда поверхность была не проводящей, то это обозначало темный участок. Электрические сигналы передавались по телеграфным линиям на приемник. Маятник на приемном устройстве окрашивал специальным образом обработанную бумагу при прохождении электрического тока.

В 1847 году Ернст Вернер фон Сименс (Ernst Werner von Siemens) (1816 - 1892), немецкий инженер-электрик, ознакомился с электрическим телеграфом Чарльза Уитстона 1837 года и отметил его возможности для международной связи. Осуществил ряд усовершенствований системы и проложил подземную телеграфную линию для прусской армии. В том же году убедил молодого механика Йохан Хальске (Johann Georg Halske) организовать телеграфную фабрику. 1 октября в Берлине была основана компания «Telegraphenbauanstalt Siemens & Halske». Компания быстро развивалась, выполняя крупные телеграфные проекты и расширяя деятельность в других направлениях электротехники. Вернер и его брат Карл (1829 - 1906) построили несколько дополнительных заводов в Лондоне, Санкт-Петербурге (1853), Вене и Париже. Исследования Вернера в электротехнике привели к разработке многих новых изделий. В частности, в 1847 году, он начал использовать каучук «гуттаперча» для изоляции телеграфных кабелей, а это, в свою очередь, позволило повысить устойчивость кабелей к повреждениям и влаге, а также снизить их вес. Кабели в гуттаперчевой изоляции сделали возможной подземную и подводную прокладку. Под руководством Вернера, компания «Siemens & Halske» проложила кабели через Средиземное море и между Европой и Индией. В настоящее время «Siemens AG» (создана в 1966 году объединением 3-х фирм «Siemens & …») – одна из крупнейших мировых компаний по производству электронного, энергосилового, электротехнического, медицинского и военного оборудования.

В 1848 году Фредерик Бейквел (Frederick Bakewell), английский физик, разработал факсимильную систему с использованием покрытых фольгой, вращающихся барабанов как на передающей, так и на приемной стороне. Система была впервые продемонстрирована в

1851 году на международной ярмарке в Лондоне (первая практическая факсимильная передача). Система Бейквелла отличалась от системы Баина тем, что изображения передавались и получались на цилиндрах (метод, широко применяемый в 1960-х). Изображение наносилось лаком или другим непроводящим покрытием на фольгу, обернутую вокруг цилиндра передатчика.

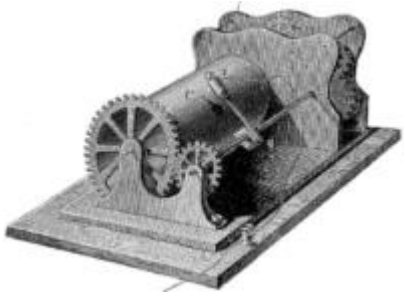


Рис. 21. «Факс» Бейквела

Цилиндр вращался с постоянной скоростью благодаря часовому механизму. Изображение построчно сканировалось пером, прикрепленным к маятнику. Проводящие участки фольги соответствовали белому цвету, непроводящие – черному. Полученные электрические сигналы передавались по телеграфным линиям к приемнику. На приемной стороне изображение синхронно восстанавливалось на химически обработанной бумаге аналогичным методом.

В 1855 году Дэвид Эдвард Хью (David Edward Hughes) (1831 - 1900), американец английского происхождения, запатентовал буквопечатающий телеграф, получивший широкое распространение. С 1857 года начал использоваться в Европе. В некоторых местах применялся до 1930-х годов. В устройстве использовалась клавиатура, каждая клавиша которой обеспечивала печать соответствующего символа на удаленном телеграфном аппарате.

Рис. 22. Телеграфный аппарат Д.Э. Хью

Принцип работы устройства напоминал «golfball» (сферическая печатающая головка) и немного современную печатную машинку (печатную машинку еще не изобрели). Современные печатные машинки, телексные аппараты и клавиатуры компьютеров прямые потомки этого изобретения.

5. РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ ТЕЛЕГРАФИРОВАНИЯ

5.1. Совершенствование телеграфной связи

К середине XIX века телеграфная аппаратура достигла такого уровня совершенства, который отвечал требованиям удобства работы и наилучшего использования дактилографических возможностей телеграфиста. Однако с ростом мирового телеграфного обмена к этому времени уже возникли другие требования. Вначале быстрый рост телеграфного обмена компенсировался повышением мастерства телеграфистов, совершенствованием телеграфной аппаратуры, рационализацией телеграфной службы. Но вскоре дальнейший рост телеграфного обмена потребовал подвески дополнительных проводов.

Огромный размер материальных затрат, которых требовала подвеска каждого лишнего провода на таких длинных магистралях, как, например, линия Петербург-Варшава (1200 км), заставил изобретателей напряженно искать средства более рационального использования уже имевшихся проводов или, выражаясь современным языком, побудил их к разработке способов уплотнения телеграфных линий.

Вместе с тем развитие телеграфии способствовало открытию и изучению законов распространения тока в электрических цепях. По этому поводу Максвелл в 1873 году писал, что «важные приложения учения об электромагнетизме к телеграфии оказали воздействие на чистую науку, придав коммерческую ценность точным электрическим измерениям и предоставив электрикам возможность пользоваться аппаратами в таких масштабах, которые далеко превосходили масштабы любой обычной лаборатории».

Эксплуатация первых длинных телеграфных линий, и особенно морских кабелей, позволила изучить и достаточно глубоко усвоить существо действительных процессов, протекавших в электрических цепях при телеграфировании. Опыт эксплуатации телеграфов укрепил правильные представления о распределении токов и напряжений в электрических цепях, открытые Омом и Кирхгофом.

В 1854 году Цирус Файлд (Cyrus W. Field), богатый нью-йоркский торговец бумагой, выступил инициатором строительства

трансатлантической линии связи. После двух неудачных попыток, 7 августа 1858 года, закончилась прокладка первого трансатлантического телеграфного кабеля. Телеграф функционировал примерно в течение 4 недель. 1 сентября кабель разрушился. В 1863 году, когда научные и технические проблемы были решены, Файлд начал готовить новую попытку. 15 июля 1865 года, в Англии, кабель был поднят на борт самого большого в мире судна «Great Eastern». Вместо изготовления по частям, на сей раз был изготовлен кабель одним отрезком длиной 2700 миль (5000 км). Потребовалось восемь месяцев, чтобы погрузить кабель на корабль (около 14 миль в день), прежде чем началась укладка. На расстоянии 73 миль от ирландского побережья произошел сбой. Кабель был выбран на борт корабля и начата новая попытка. Через два дня сбой повторился. За кабелем было установлено круглосуточное наблюдение, так как руководство проекта стало подозревать рабочих в саботаже. В это раз все шло хорошо. Оставалось около 600 миль (1110 км) прокладки, когда кабель сорвался и погрузился на дно океана. 9 суток велись работы по его подъему с глубины 2,5 миль (4,63 км), но все они были тщетны.

Рис. 23. «Анатомия» трансатлантического кабеля

Следующая попытка была начата 13 июля 1866 года. 27 июля через Атлантический океан из «Heart's Content» (Trinity Bay, Ньюфаундленд, Канада) до Валенсии (Ирландия) Цирус Файлд послал первую телеграмму: «Мы прибыли сюда в 9 часов утра. Все хорошо. Слава Богу, кабель положен и находится в рабочем состоянии». «Great Eastern» снова вышел в море и 12 августа начал работы по подъему кабеля оборвавшегося годом ранее. 1 сентября, в 680 милях (1260 км) от Ньюфаундленда, кабель был поднят и соединен с новым отрезком кабеля,

находившимся на борту. 17 сентября 1866 года кабель также был подведен к «Heart's Content», став второй, параллельной, линией трансатлантического телеграфного кабеля.

После прокладки первых морских кабелей, в полной мере стала ясна зависимость процесса телеграфирования от электрической емкости проводов. Эта зависимость оказалась настолько сильной, что даже по первым подводным кабелям телеграммы приходилось передавать в замедленном темпе. Для работы же по трансатлантическому кабелю существовавший пишущий аппарат оказался вообще не пригодным, так как его приемник мог реагировать на сигналы силой не менее 10 мА.

Это препятствие было устранено В. Томсоном (Кельвином), создавшим в 1867 году пишущий аппарат высокой чувствительности, известный под названием сифоп-рекордера, для надежной работы которого требовался лишь входящий ток порядка 0,02 мА. По существу в сифон-рекордере Томсона (Кельвина) получила дальнейшее развитие идея телеграфного аппарата Шиллинга. Трудности, встретившиеся при первых попытках телеграфирования по длинным морским кабелям, побудили крупнейших физиков (Якобл, Ленца, Максвелла, Гельмгольца, Поггендорфа, Уитстона и др.) заняться изучением роли самоиндукции и емкости в переходных процессах, протекающих в электрических цепях при телеграфировании. Открытые при этом закономерности показали, что воздушный телеграфный провод допускал значительно более высокую скорость телеграфирования по сравнению с той, которая определялась производительностью существовавших телеграфных аппаратов.

В 1859 году Джорж Фелпс (George M. Phelps), американский изобретатель, специализирующийся на телеграфных аппаратах, создал наиболее удачный печатный телеграф. В устройстве использовалась клавиатура подобная фортепьянной, содержащая 28 клавиш, включая точку и клавишу «пробел». Устройство было создано на концепциях разработанных Хью. В устройстве использовался электромагнитный регулятор для работы на высоких скоростях и реализована возможность выбора источника энергии

(сжатый воздух, пар, позднее электрический двигатель). Устройство использовалось почти 20 лет на некоторых важных телеграфных линиях на востоке США (между Бостоном, Албани, Нью-Йорком, Филадельфией и Вашингтоном). В 1875 году Фелпс создал печатный телеграф с использованием электродвигателя. Двигатель обеспечивал скорость передачи до 60 символов/мин (телеграфные аппараты Морзе до 30). Устройство нашло применение на наиболее загруженных линиях. Джеймс Рейд (James D. Reid), признанный авторитет в области телеграфа XIX-го века, так отозвался об устройстве Фелпса: «Это может быть расценено как образец самых высоких достижений человеческого разума».

Рис. 24. Печатный телеграфный аппарат Фелпса

Рис. 25. Печатный телеграфный аппарат Фелпса с электродвигателем

5.2. Автоматическое телеграфирование

Достигнутая к концу первого периода развития телеграфии производительность телеграфных аппаратов была близка к пределу, превзойти который не могла бы рука даже наилучшим образом натренированного телеграфиста. По данным современных дактилографических наблюдений, самый опытный телеграфист в состоянии довести среднюю скорость передачи при длительной работе только до 240-300 букв в минуту. Даже при кратковременной (в течение не более 3 мин) работе рекордсменов на международных соревнованиях скорость их передачи не превышает 600 букв в минуту.

Эти обстоятельства породили идею заменить ручную работу телеграфиста по непосредственной передаче сигналов в линию. Многочисленные попытки осуществить эту идею свелись к

разработкам двух типов передатчиков: 1) с механизмом для предварительного накопления кодовых комбинаций, 2) с управлением не рукой телеграфиста, а заранее подготовленной им перфорированной лентой.

Различные варианты передатчиков с механизмами для предварительного накопления кодовых комбинаций предлагались еще в середине 19 столетия Сименсом, Поттсом, Клейншмидтом, Мурреем, Смитом, Эрхардом и десятками других изобретателей. По конструкции они были весьма разнообразны, но общий принцип этих устройств был единым и состоял в том, что набор телеграфистом кодовых комбинаций предварительно фиксировался и сама передача уже осуществлялась специальным механизмом с постоянной скоростью, не зависавшей от неравномерной работы телеграфиста. Подобные устройства могли накапливать не более 6-8 знаков. Предварительная подготовка перфорированной ленты повысила скорость телеграфной передачи, так как на нее уже не накладывались какие бы то ни было дактилографические ограничения. Поэтому в дальнейшем получила широкое применение и развитие именно эта система, а попытки ввести в эксплуатацию устройства с механическим накоплением кодовых комбинаций, в конце концов, прекратились.

Первое практически пригодное устройство для телеграфирования с предварительной подготовкой перфорированной ленты по неравномерному коду было разработано Уитстоном в 1858 году. Однако изобретателю не удалось его сразу ввести в эксплуатацию. Существенно более сложным было создание приемного аппарата. Только после того как Уитстон создал специальный приемник (ресивер) с двухполюсным быстродействующим поляризованным электромагнитом, ему удалось довести всю систему в целом до пригодного для эксплуатации состояния и в 1867 году впервые установить ее для обслуживания действующей линии. В 60-70-х годах XIX века на изобретение автоматического телеграфа Уитстон получил в Англии ряд патентов.

Аппараты Уитстона позволяли регулировать скорость механизмов в очень широких пределах, и на первых порах

производительность аппарата ограничивалась исключительно характеристиками телеграфной линии. К началу XX века наилучшие образцы аппарата Уитстона позволяли доводить его производительность до 1500 знаков в минуту, что соответствовало продвижению перфорированной ленты через трансмиттер со скоростью 36 м/мин.

Однако быстродействующие аппараты отличались сложностью конструкции, затруднявшей эксплуатацию и требовавшей постоянного присутствия высококвалифицированных механиков, быстродействие механизмов достигалось ценой их быстрого износа, вызывавшего необходимость их частого ремонта. Для эксплуатации быстродействующей аппаратуры требовался многочисленный персонал. Например, главное управление почт и телеграфов в России расписанием, утвержденным в 1901 году, предусматривало для обслуживания штат, состоявший из 5-8 человек: одного аппаратчика (телеграфиста, управляющего аппаратом), двух перфоровщиков (т.е. лиц, набивавших на перфораторную ленту тексты телеграмм), одного копииста (т.е. лица, списывавшего текст принятой телеграммы в раскодированном виде) и одного журналиста (лица, ведущего аппаратный журнал). Если нагрузка превышала 80 двадцатисловных телеграмм в час, прибавлялся еще один перфоровщик и один копиист, а при дуплексной работе – помощник к аппаратчику.

Большие трудности, сопряженные с созданием буквопечатающей аппаратуры, работающей на принципе предварительной заготовки перфорированной ленты, были преодолены изобретателями только в 20-ом столетии. Известность получила английская система Крида, в которой был применен перфоратор с клавиатурой пишущей машинки, специальный передатчик, так называемый трансмиттер, ленточный рекордер для приема на перфорированную ленту и дешифратор, обеспечивавший воспроизведение буквенного текста.

Система Крида, основанная на применении неравномерного кода, была сложна в своей приемной части и впоследствии использовалась чаще не как буквопечатающая система, а с ондулятором на приеме, непосредственно записывавшим знаки

неравномерного кода в виде волнистой линии.

Разработка буквопечатающей аппаратуры с предварительной перфорацией ленты на основе равномерного пятизначного кода была впервые успешно осуществлена в 1912 году фирмой «Siemens & Halske», но широкого распространения эта система также не получила.

Перечисленные выше быстродействующие телеграфные устройства в большинстве стран назвали автоматическим телеграфом, хотя в том виде автоматизация в телеграфии в современном понимании этого слова еще не была достигнута, так как ленту все равно перфорировали вручную. Весь смысл изобретения тогда заключался не в автоматизации работы, а в уплотнении телеграфной передачи с использованием передатчика, допускавшего высокую скорость телеграфирования. Появилась возможность обеспечить работу телеграфного канала с предельной нагрузкой, так как необходимое для этого число телеграфистов могло одновременно перфорировать телеграфную ленту.

Лишь после изобретения Кридом ленточного рекордера, позволявшего на приеме получить точную копию оригинальной ленты трансмиттера, которая могла быть использована во втором трансмиттере для дальнейшей передачи, появилась возможность автоматизированного (в подлинном смысле слова) переприема транзитных телеграмм.

Но и эта возможность широко использована только в последнее время, а в рассматриваемый период более точный термин был принят в Германии, где указанные устройства справедливо назвали машинным телеграфом.

5.3. Многократное телеграфирование

Наряду с разработкой машинных телеграфов многочисленные изобретатели предпринимали и другие попытки увеличить производительность аппаратуры с целью эффективнее использовать телеграфный канал. Еще в 1853 году английский изобретатель Г. Фармер указал на то, что телеграфист после передачи каждого сигнала делает паузу. Как бы мала ни была эта пауза, она всегда

достаточна, чтобы в этот промежуток передать дополнительно еще несколько сигналов. Основываясь на этих наблюдениях, Фармер предложил присоединить к одному проводу несколько передатчиков, используя этот единственный провод для подачи телеграфной информации от каждого передатчика по очереди при помощи специального устройства - распределителя.

Первая серьезная попытка реализовать идею Фармера принадлежит английскому механику Д. Бернету. В 1860 году он впервые разработал специальную клавиатуру для совместной работы передатчиков пятизначным равномерным кодом через общий распределитель.

В 1863 году русский изобретатель В. Струбинский и в 1872 году немецкий изобретатель Б. Майер разработали подобные системы аппаратов для неравномерного кода. Эти изобретения способствовали дальнейшему развитию идеи, но практически еще не решали задачу, так как, основываясь на неравномерном коде, давали сравнительно небольшой выигрыш в уплотнении передачи, не оправдывавший сравнительную сложность аппаратуры.

В 1872 году Эмиль Бодо (Jean-Maurice-Emile Baudot) (1845 - 1903), французский инженер. сделал попытку осуществить двукратную передачу, приспособив для этой цели аппараты Хьюа, но лишь убедился при этом, что аппараты импульсного кода в еще меньшей степени, чем аппараты неравномерного кода, позволяют реализовать выгоды последовательного телеграфирования. Обобщив полученные им результаты и опыт предшественников, Бодо положил в основу своей дальнейшей работы пятизначный код в котором каждый символ представлялся пятизначным (пятиразрядным) кодом, сформированным комбинацией сигналов «вкл./выкл.» (ток есть/тока нет) равной длительности. Это обеспечивало существенную экономию времени передачи, по сравнению с кодом Морзе. 32 комбинации позволяли кодировать латинский алфавит, знаки пунктуации и символы управления механическими функциями аппарата. В 1874 году Бодо запатентовал первый практически пригодный двукратный аппарат, а в 1876 году пятикратный аппарат; в 1877 году аппараты Бодо были официально введены во Франции, а

затем получили широкое распространение в других странах.

Производительность двукратного аппарата Бодо достигала 360 знаков в минуту. Производительность четырех- и шестикратных аппаратов, соответственно была вдвое и втрое больше. Бодо посвятил телеграфии всю свою жизнь. Он не только сумел блестяще разрешить задачу последовательного многократного телеграфирования, но и создал дешифраторы, печатающие устройства и распределители.

Если Шиллинг ввел в телеграфию равномерный пятизначный код, а Гаусс показал его рациональность, то Бодо впервые полностью практически реализовал преимущества равномерного пятизначного кода. Наконец, Бодо нашел такие способы поддержания синхронизма между передатчиком одной станции и приемником другой, которые обеспечивали падежную работу буквопечатающих аппаратов на линиях значительной протяженности.

Таким образом, работы Бодо составили важнейшее достижение телеграфии во второй половине XIX века.

Признавая высокие заслуги Жана Мориса Эмиля Бодо, Международный комитет по телеграфии в 1927 году присвоил единице скорости телеграфирования название бод.

В России аппараты Бодо были впервые установлены в 1904 году для телеграфной связи между Петербургом и Москвой. Однако сразу выяснилось, что в русских условиях к этим аппаратам предъявляются дополни тельные требования. Так как в русском алфавите букв больше, чем в латинском, невозможно было разместить их на одном только буквенном регистре и менее употребительные щ, й, э, ъ. ё пришлось поместить на цифровом регистре. Получавшиеся пробелы при переходе посреди слова с одного регистра на другой нередко приводили к недопустимым искажениям смысла телеграммы. В 1908 году механик Петербургского телеграфа А.П. Яковлев изобрел остроумное приспособление, устранившее этот недостаток.

Другое дополнительное требование было следствием значительной протяженности русских телеграфных линий. Аппарат Бодо мог работать на линии длиной не более 600 км. Этот недостаток был также устранен А.П. Яковлевым, разработавшим телеграфную трансляцию для аппаратов Бодо, которая увеличила возможную

дальность телеграфирования в четыре раза. Трансляция Яковлева была успешно испытана в 1915 году на линии Петроград-Ростов.

В последующие годы отечественные ученые внесли немало значительных усовершенствований в аппарат Бодо, среди которых особенно важной была разработка системы Бодо-радио.

5.4. Дуплексное телеграфирование

Почти одновременно с изобретением последовательного многократного телеграфирования был разработан метод уплотнения телеграфного канала при помощи так называемого дуплексного телеграфирования.

Первыми подал мысль о дуплексном телеграфировании еще в 1853 году Вильгельм Джулиус Гинтл (Julius Wilhelm Gintl), австрийский физик. Он предложил двухстороннюю (дуплексную) телеграфную связь, позволяющую одновременную передачу сигналов в противоположных направлениях. Он реализовал идею с помощью 2-х батарей, а метод получил название «метод компенсации». За это изобретение был удостоен Золотой медали на промышленной выставке в Париже (1855). Это позволяло добиться такого режима в схеме двух станций, чтобы приемник каждой из них не реагировал на работу собственного передатчика, но всегда был готов к приему сигналов, поступающих от другой станции.

Идея дифференциальной схемы дуплексного телеграфирования сама по себе не вызывала сомнений. Однако первые же попытки ее осуществления встретили затруднения. Оказалось, что обычный ключ передатчика пишущего телеграфа практически непригоден. В процессе телеграфирования при переходе из положения покоя в рабочее и обратно оба контакта ключа на некоторое время оказывались разомкнутыми одновременно. В это так называемое переходное время дифференциальная схема оказывалась нарушенной.

Помимо этого, чисто технического препятствия, обнаружились и эксплуатационные затруднения. При обычном телеграфировании персонал телеграфных станций все служебные справки, пояснения и переговоры при необходимости мог осуществлять немедленно, прерывая передачу очередной телеграммы. Значение такой

возможности можно понять, если учесть относительно невысокий уровень мастерства телеграфистов того времени,

Известный русский математик З.Я. Слонимский первый сумел разработать в 50-х годах XIX века систему встречного телеграфирования (квадруплексная система), исключавшую указанные выше затруднения.

В 1871 году американский инженер Д. Стирнс впервые ввел в эксплуатацию упрощенную дифференциальную схему дуплексного телеграфирования. Чтобы избежать применения специального телеграфного ключа, Стирнс ввел в цепь обычного телеграфного ключа вспомогательное реле с переходными контактами.

Идея квадруплексного телеграфирования была практически реализована только в 1874 году известным американским изобретателем Т.А. Эдисоном, который совместно с инженером Джорджем Прескоттом разработал так называемую мостовую схему, действие которой основывалось на закономерностях известного моста Уитстона.

К концу 70-х годов квадруплексное, дуплексное и диплекспое телеграфирование широко распространилось во всех странах, особенно в Англии и США.

Таким образом, во второй половине 19-го столетия в связи с интенсивным строительством телеграфных линий значительной протяженности, назрела насущная задача повысить эффективность использования телеграфных проводов. В соответствии с уровнем научно-технических знаний и производственной технологии разработка методов уплотнения телеграфного канала пошла по трем самостоятельным направлениям и привела к изобретению и практическому применению машинного, многократного последовательного и дуплексного телеграфирования.

5.5. Развитие идеи частотного телеграфирования

Из всех технических идей, направленных на повышение степени использования дорогостоящей телеграфной линии, самой важной была идея телеграфирования токами разной частоты. Пути ее осуществления оказались весьма сложными, но ее развитие принесло

результаты, значение которых вышло далеко за пределы телеграфии или даже вообще техники связи.

Первые предпосылки для возникновения идеи частотного телеграфирования появились очень давно. Еще в 1837 году американский инженер Ч. Пейдж заметил, что включения и выключения тока, протекающего через соленоид, подвешенный между полюсами подковообразного магнита, вызывают звук. В последующем это явление изучали многие физики, в том числе О. Де ла Рив и Г. Вертгейм, показавшие в 1849 году, что замыкания и размыкания цепи обмотки электромагнита вызывают продольные колебания его сердечника. Применяя в качестве сердечника электромагнита мягкое железо, они установили, что тон получаемых при этом звуков строго зависит от частоты замыканий и размыканий электрической цепи.

В ближайшие годы было создано множество конструкций так называемых зуммеров, представлявших собой электромагнит, якорь которого, приходя в колебание, автоматически замыкал и размыкал электрическую цепь его обмотки. В 1852 году чешский физик Ф. Петржина использовал усовершенствованный им зуммер в качестве телеграфного приемника. В разработанной им системе звукового телеграфирования передаваемые буквы обозначались комбинациями коротких и длинных звуковых сигналов.

Все эти открытия и изобретения подготовили почву для развития идеи одновременной передачи нескольких телеграмм по одному и тому же проводу токами разной частоты. Первая попытка осуществить эту идею принадлежит французскому учителю физики Э. Лаборду, доложившему о своем изобретении в 1860 году Парижской Академии наук.

Передатчик в устройстве Лаборда состоял из металлической пластинки, один конец которой был зажат, а к другому концу припаян медный стерженек. При колебаниях пластинки этот стерженек опускался в чашечку с ртутью, замыкая телеграфную цепь. Электромагнит приемника имел якорь, представлявший полное подобие металлической пластинки передатчика, а следовательно, обладал одинаковой с ней собственной частотой колебаний.

Основываясь на явлении резонанса, Лаборд включал в общий телеграфный провод несколько пар описанных устройств, стремясь добиться независимого действия каждой пары, т. е. избирательности работы каждого приемника в отношении действующего в паре с ним передатчика.

Значительный шаг вперед в развитии частотного телеграфирования был сделан профессором Харьковского университета Ю.И. Морозовым, который впервые отказался от сигнализации прерывистым током. В 1869 году он разработал передатчик, представлявший собой стеклянный сосуд, наполненный токопроводящей жидкостью с двумя опущенными в нее электродами. Один из электродов был неподвижным, другой изготовлен в виде металлической пластинки с жестко укрепленным концом. При колебаниях металлической пластинки электрическое сопротивление между ней и неподвижным электродом изменялось по синусоидальному закону и соответственно менялся ток в цепи. Частота этого тока соответствовала частоте собственных колебаний металлической пластинки. Передатчик Морозова представлял собой прообраз микрофона.

Изобретение жидкостного микрофона положило начало целой серии опытов над «гармоническим» телеграфом и в конечном счете привело к открытию действительной возможности передачи человеческой речи.

Полное же практическое осуществление идея частотного телеграфирования получила лишь с развитием радиоэлектроники.

6. ПОЯВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕЛЕФОНИИ

Термин «телефон» появился раньше возникновения практической телефонии. Еще в 1795 году содержатель одного из петербургских пансионов Х. Вольке демонстрировал в Гатчине екатерининскому двору «телефонное искусство» - проект акустической связи по трубам между Петербургом и Кронштадтом. Во Франции в 1828 году В. Судр предложил механическое устройство для передачи звуков на расстояние, которое назвал

«телефониумом», а Ч. Уитстон в Англии в 1831 году – «телефоном». В Германии Е. Ромерсгаузен в 1838 г. назвал «телефоном» устройство для связи, при помощи которого предлагал воспользоваться способностью железнодорожных рельсов далеко проводить звук.

В сущности перечисленные предложения представляли собой попытки превратить в практически пригодное средство связи так называемый «шнурковый телефон» - детскую игрушку, изобретенную Р. Гуком еще в 1667 году.

Затем внимание ученых было обращено на акустические индикаторы электрических сигналов, чему сопутствовало появление электрического телеграфа. В 1832 году П. Л. Шиллинг демонстрировал изобретенное им для электромагнитного телеграфа вызывное устройство, представлявшее соединение специального мультипликатора со звонком и часовым механизмом. В пишущем телеграфе, установленном Б. С. Якоби в 1841 году в Петербурге для связи между Зимним дворцом и Главным штабом, уже была предусмотрена возможность акустического приема не только одного лишь вызывного сигнала, но и самой телеграммы. С этой целью сигналы принимались одновременно пишущим электромагнитом и звонком, что обеспечивало возможность записи телеграммы и приема ее на слух. Использовав указанный принцип, Якоби разработал также звонковый телеграф, предназначавшийся для приема сигналов только на слух.

Т.о., звонок был ранним акустическим индикатором электрических сигналов. Однако по мере совершенствования конструкции передатчиков и мастерства телеграфистов росла скорость телеграфирования. Поэтому в дальнейшем для акустического приема телеграфных сигналов потребовался прибор менее инертный, чем звонок. Такой прибор возник после открытия американского физика Ч.Г. Пейджа, который в 1837 году обнаружил явление, названное им «гальванической музыкой»: в электрической цепи, состоявшей из камертона, электромагнита и гальванических элементов, при колебаниях камертона, размыкавших и замыкавших цепь, электромагнит издавал поющий звук.

Б. С. Якоби воспользовался открытием Ч.Г. Пейджа и в 1843 году сконструировал устройство для телеграфирования звуками, которое назвал «шепчущим телеграфом». В качестве передатчика Якоби применил видоизмененное им «колесо Неефа» - прерыватель электрического тока, использовавшийся в медицинских опытах; для приема сигналов служил соленоид, в котором находился свободно подвешенный стержень из мягкого железа. Передатчик в исполнении Якоби состоял из медного диска, по окружности которого было прикреплено сто пластинок из слоновой кости. Вращение диска с помощью рукоятки прерывало цепь в контакте щетки, лежавшей на диске. Так как скорость вращения диска достигала четырех оборотов в секунду, частота прерываний доходила до 400 Гц, что обеспечивало лишь невысокое звучание («шепот») приемника.

Рис. 26. Телеграф Якоби

Сравнивая «шепчущий» и «звонковый» телеграфы, Якоби писал: «Этого рода слуховые звуки, кроме легкости их производства, имеют еще то преимущество перед знаками, что могут быстрее повторяться; по желанию производиться в более медленном темпе; в, наконец, даже слагаться в мелодии, правда монотонные и несколько искаженные...».

Это наблюдение Якоби было подкреплено физиками О. Де ла Ривом и Г. Вертгеймом, показавшими в 1849 году, что тон получаемых в приемном магните звуков зависит от частоты замыканий и размыканий электрической цепи.

Развитие электрического телеграфа сопровождалось изобретением и усовершенствованием акустического вызывного прибора. Первые электрические звонки снабжались часовым механизмом, приводившимся в рабочее состояние от мультипликатора (в телеграфах Шиллинга) или от электромагнита (в телеграфах Якоби). Часовые механизмы усложняли и удорожали вызывные устройства, требовали частого ремонта. Поэтому

изобретение Нефом электрического самопрерывателя (названного им «реотомом») сразу привлекло внимание и было использовано в вызывных устройствах телеграфных аппаратов, выпускавшихся В. Сименсом уже с 1847 году.

Принцип действия электрического самопрерывателя до сего времени используют в квартирных звонках. О. Де ла Рив изменял длину якоря и тем самым добивался изменения частоты прерываний тока, т. е. высоты звучания прерывателя. Фроман, а затем Петржина предложили более универсальный способ, регулируя размах колебаний пластинки винтом, который они ставили на место контакта.

В 1854 году Шарль Борсеу (Charles Bourseul) (1829 - 1912), французский инженер, специалист в области телеграфной связи, исследовал возможности передачи голоса (телефония). Его конструкция (прототип микрофона) позволяла преобразовывать речь в электрические сигналы. Все попытки разработать устройство для обратного преобразования потерпели неудачу. Опубликовал (1854) основные идеи электрической передачи звука в журнале «L'Illustration de Paris». Французский академик Т. А. дю Монсель считал, что Ш. Борсеу предложил в своем описании устройство, сходное с тем, которое позднее в 1861 году осуществил немецкий физик Ф. Рейс. Однако именно работы Ф. Рейса положили начало практическому осуществлению идеи телефонирования.

6.1. Изобретение телефона

Еще в студенческие годы (с 1853 года) Йогана Филиппа Рейса (Johann Philipp Reis) (1834-1874) заинтересовала задача передачи и воспроизведения звуков при помощи гальванического тока. Готовясь стать преподавателем физики, он познакомился с исследованиями Вертгейма, но в собственных работах пошел по новому пути, пытаясь воспроизвести процессы, происходящие в органах слуха человека. К 1860 году он сконструировал до десятка различных устройств и в конце концов создал «искусственное ухо» - модель ушной раковины из дуба, вход в нее закрыл эластичной мембраной, разместил на ней молоточек с наковальней из платиновой пластинки и соединил это

устройство с источником тока и электромагнитным приемником. В 1860 году он упростил это устройство, сведя его к передатчику, представлявшему собой ящик с отверстием, обтянутым перепонкой, к поверхности которой была прикреплена ленточка электропроводной фольги. В центре перепонки над концом ленточки располагался контакт. При воздействии звука на перепонку контакт замыкал цепь с частотой воздействующего звука. В качестве приемника изобретатель использовал соленоид с сердечником, жестко укрепленным с обоих концов. В последующие годы Ф. Рейс неоднократно демонстрировал свое изобретение у себя на родине.

Рис. 27. Телефон Реиса

Особый интерес представляет демонстрация телефонного устройства в России в 1865 году. Д. Хью вспоминал об этой демонстрации в Петербурге в следующих словах: «Поскольку я желал продемонстрировать не только мой собственный телеграфный аппарат, но и последнюю новинку в этой области, профессор Филипп Рейс из Фридрихсдорфа прислал мне свой новый телефон в Россию, и таким образом я был в состоянии совершенно ясно передавать и принимать музыкальные звуки, а также несколько произнесенных слов. Передача этих слов была, однако, крайне ненадежной, так как временами слово могло быть передано очень ясно, а затем вдруг без видимых причин передача совершенно прекращалась. Этот прекрасный инструмент был основан на верной теории телефонирования, и он имел все необходимые элементы, чтобы им можно было практически пользоваться». Знаменательно, что Д. Хью дал приведенную положительную характеристику устройству Ф. Рейса тридцать лет спустя после указанной демонстрации, т. е. в то время, когда телефонные устройства уже достаточно долго

практически использовались, а он сам, как будет изложено в дальнейшем, сделал важнейшее для прогресса телефонной техники открытие.

Работы Германа Людвига Фердинанда Гельмгольца (Hermann von Helmholtz) (1821 - 1894), немецкого ученого, одного из самых знаменитых физиков второй половины XIX-го века, прояснили причины ненадежной работы устройства Ф. Рейса. Г. Гельмгольц показал, что для успешного воспроизведения звука имеет значение не только его частота, но и тембр. Стало ясно, что в моменты полного прерывания цепи в контакте устройства Ф. Рейса искажался тембр звучания.

Особенно интенсивно экспериментировали с «гармоническим телеграфом» американские ученые. В США бурно развивалась телеграфная связь, а относительно большая протяженность телеграфных линий (сравнительно с западноевропейскими), придавала большую остроту проблеме уплотнения американских линий связи.

Телеграфная компания «Вестерн Юнион» обещала огромнейшее вознаграждение лицу, которое сумеет разрешить практически проблему многократного частотного телеграфирования.

Первым обнаружил способность гармонического телеграфа воспроизводить переданные звуки с сохранением тембра американский физик Илайша Грей (Elisha Gray) (1835 - 1901). О своем открытии он сообщил в печати в августе 1874 года, но закончил разработку изобретения и подал патентную заявку лишь полтора года спустя, 14 февраля 1876 года, назвав изобретение «Устройством для передачи и приема вокальных звуков телеграфным способом».

Однако, как указывалось, в том же направлении экспериментировало много изобретателей, и неудивительно, что в этот же день и даже на три часа ранее И. Грея представил в патентное бюро аналогичную заявку А. Г. Белл, также объявивший, что «создал телеграф, при помощи которого можно передавать человеческую речь». И хотя Белл подал заявку раньше, Грей опротестовал решение Патентного бюро. Слушания в американском Верховном суде

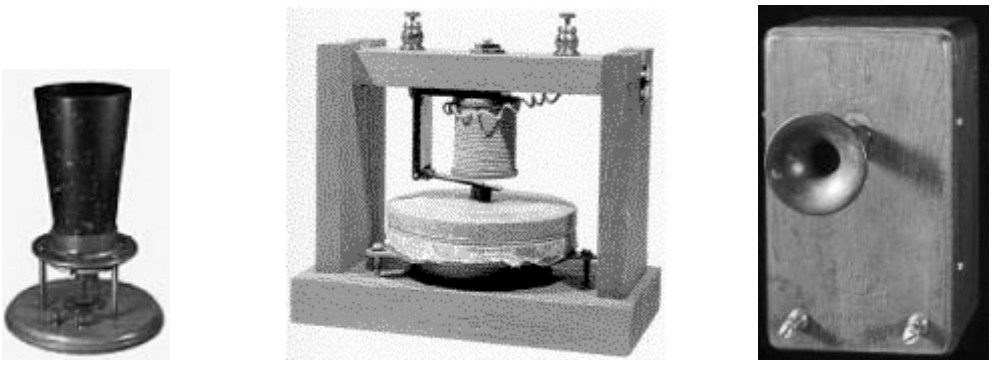
признали первенство Белла.

Ранее А. Г. Беллу стало известно об огромной награде, обещанной «Вестерн Юнион» за изобретение частотного телеграфирования, и он все свободное время стал отдавать «музыкальному телеграфу». В июне 1875 года, экспериментируя, Л. Г. Белл подобно И. Грею (но почти на год позднее) совершенно случайно из-за оплошности своего ассистента А. Ватсона обнаружил, что приемник воспроизводит звуки речи. Оказалось, что А. Ватсон исправлял приемный электромагнит, подключенный к другому приемному электромагниту, находившемуся в соседней комнате, в которой сидел А. Белл. Таким образом, в отличие от И. Грея, предложившего для телефонирования устройство, состоявшее из жидкостного микрофона (передатчик) и приемного электромагнита, А. Белл, обнаруживший, что электромагнит с легким якорем может служить и передатчиком, первоначально предложил систему, состоявшую из двух электромагнитов.

7 марта 1876 года А. Г. Белл получил долгожданный патент. Однако он вскоре убедился, что звуки в приемнике еле слышны и, работая с предложенной в патенте схемой, добиться их усиления невозможно. К тому же первое исполнение этой схемы было весьма грубым. Белл предложил свое изобретение Телеграфной компании («Telegraph Company»), предшественнице компании «Western Union». Из заключений экспертов: «…Мы установили, что голос очень слаб и неясен… Технически, мы не видим (перспектив), что это устройство будет когда-либо способно к посылке разборчивой речи на расстояние нескольких миль». «…Мессер Хуббард (Messer Hubbard) и Белл хотят установить телефонные устройства в каждом городе. Это идиотская идея. Кроме того, вряд ли найдется хотя бы один человек, который захочет использовать это неудобное и непрактичное устройство, когда он может из любого телеграфного офиса послать понятное сообщение в любой крупный город Соединенных Штатов». «К настоящему времени электрики нашей компании провели существенные усовершенствования телеграфного искусства. Мы не видим никаких причин, для чего нам следует угождать прихотям группы посторонних изобретателей с

экстравагантными и непрактичными идеями… Налицо недостаток понимания технических и экономических факторов данной ситуации… Игнорируются очевидные ограничения устройства, которое является едва большим чем игрушка… Ввиду приведенных фактов, мы заявляем, что покупка этого патента за $100 000 крайне неблагоразумна, так как это устройство бесполезно для нас. Мы не рекомендуем его покупку». Фирма «Вестерн Юнион» пригласила И. Грея и Т.А. Эдисона для разработки практически пригодных телефонных устройств, создав в 1879 году дочернюю фирму «Америкой Спикинг Телефон компани».

В ответ А.Г. Белл организовал собственную фирму «Нью Ингленд Телефон компани», впоследствии преобразованную в «Белл Телефон компани». К работе в созданной им фирме он привлек немецкого иммигранта Э. Берлинера и бостонского профессора Блейка.



а б в

Рис. 28. Первый телефонный аппарат Белла: а – жидкостный передатчик, б – приемник, в – коммерческий телефон Белла, 1877

Так же хотелось бы отметить другую историческую версию относительно изобретения телевона Беллом. В 1849 году Антонио Меучи (Antonio Meucci) (1808 – 1896, родился во Флоренции (Италия), с 1835 проживал на Кубе, часто посещал США), талантливый изобретатель без предпринимательских способностей и владеющий только итальянским языком, изобрел телефонную связь. Ввиду отсутствия средств на регистрацию, не смог запатентовать устройство (хотя и подал заявку с описанием). Организовал в 1855 году в собственном доме телефонную связь для того, чтобы больная

супруга могла вызывать его, когда ей становилось плохо. В 1860 году провел демонстрацию устройства для передачи голоса по проводам, во время которой голос певца передавался по телефонным проводам на расстояние нескольких миль. Опубликовал рисунки своего изобретения в 1870, на 6 лет раньше Бэлла (1876). Во время нахождения Меучи в больнице, супруга из-за недостатка средств продала многие из его изобретений (включая прототип «телефонного аппарата») скупщику поддержанных вещей за $6. Когда Меучи попытался выкупить эти «драгоценные» предметы, ему сообщили, что они были перепроданы «неизвестному молодому человеку». Личность покупателя так и осталась загадкой. Неспособный выплатить сумму в $250 за регистрацию патента, он все равно подавал заявки на «говорящий телеграф» в 1871, 1872 и 1873 годах. В 1872 году Меучи обратился с предложением продемонстрировать возможности своего изобретения к вице-президенту филиала компании «Western Union Telegraph Company», предоставив техническое описание «говорящего телеграфа». Однако при последующих обращениях в компанию Меучи постоянно слышал ответ, что на испытания нет времени. После двух лет ожидания, в 1874 году Меучи потребовал возвращения своих материалов. В компании ответили, что документы утеряны. После патентования в 1876 году Бэллом принципа телефонии, Меучи изучил его патент и обратился в патентное бюро США с просьбой вернуть заявки на его собственное изобретение «говорящего телеграфа». Оказалось, что документы также «утеряны». Иск, поданный Меучи против Бэлла, рассматривался судом в 1886 году. Меучи мог объяснить каждую деталь изобретения в мельчайших подробностях, что не оставляло сомнений относительно авторства изобретения. Меучи не смог выиграть процесс против «дорогих» адвокатов Бэлла, несмотря на публичное заявление госсекретаря:

Рис. 29. Телефон Меучи, 1857 год

«…Существует достаточно доказательств, чтобы отдать приоритет Меучи в изобретении телефона…». Судебные слушания затягивались и откладывались из года в год до самой смерти изобретателя.

В мае 1878 году Д. Хью доложил Лондонской королевской академии, членом которой он состоял, об открытии им микрофонного эффекта, который состоял в следующем. Исследуя плохие электрические контакты при помощи телефона, Д. Хью обнаружил, что колебания плохого контакта прослушиваются в телефоне. Испробовав контакты, изготовленные из различных материалов, Хью убедился, что эффект проявляется с наибольшей силой при использовании контактов из прессованного древесного угля. Основываясь на этих результатах. Хью сконструировал в 1877 году. телефонный передатчик, названный им «микрофоном». Термин «микрофон» впервые был применен английским физиком Ч. Уитстоном к изготовленному им в 1818 году чувствительному прибору для исследования слабых звуков. Прибор Хью состоял из угольной палочки, свободно вставленной в углубления угольных колодок. Это устройство при включении в телефонную цепь действовало подобно жидкостному передатчику Морозова: контактное сопротивление в точках касания палочки с колодками изменялось в соответствии со звуковыми колебаниями, вызывая соответствующие гармонические колебания в цепи телефона.

Таким образом, был найден более портативный, чем жидкостный, и более чувствительный, чем электромагнитный, передатчик звуков, и изобретатели принялись интенсивно работать над созданием конструкции палочкового микрофона, удобной для практического использования. Сам же Хью, не считая свое открытие изобретением, даже не взял патента на свое устройство, чем способствовал впоследствии предъявлению необоснованных претензий со стороны других изобретателей.

Тем не менее, телефонные устройства не только были еще очень далеки от совершенства, но оказались непригодными для повседневной эксплуатации, так как требовали почти непрерывной регулировки.

Известный изобретатель, много сделавший впоследствии для

усовершенствования микрофона, Эмиль Берлинер (Emil Berliner) (1851 - 1929), вспоминая положение дел в компании Белла, писал об этом времени следующее: «Состояние передатчика Блейка, когда я взялся за него, было печально, так как они (т. е. компания Белла) не могли сделать десяток передатчиков достаточно идентичными и когда их к вечеру регулировали, то уже на следующее утро они оказывались разрегулированными. Вместе с тем качество передачи нельзя было назвать иначе как «boomy» (здесь Берлинер употребляет английское слово «boomy» как термин «сильный гул», «сильный шум») и перед передатчиком требовалось говорить с величайшей осторожностью, чтобы эта речь хоть как-либо была понята на приемном конце». Для эксплуатации надо было иметь постоянно опытного человека с приборами для регулировки, чтобы сделать коммерческий разговор вообще возможным. Поэтому в течение 1879 года продолжали использоваться электромагнитные передатчики в виде огромных ящиков, привинчиваемых к стене. Так, по данным «Почтово-телеграфного ежегодника» за 1899 год, издававшегося в России, электромагнитный телефон Белла весил 19 фунтов (около полпуда, т.е. около 8 кг).

В усовершенствовании телефонной аппаратуры приняли участие сотни ученых и изобретателей. Наиболее известными стали работы Т. А. Эдисона, Ф. ван Риссельберге, Э. Берлинера, Ф. Блейка, А. Е. Долбера, Т. Пушкаша, К. Адера и других.

По значительности сделанного вклада в становление телефонной техники первым среди изобретателей следует несомненно назвать Павла Михайловича Голубицкого (1845 – 1911). Первую патентную заявку он сделал в 1881 году на телефон-фонограф – аппарат, позволивший не только вести телефонные разговоры, но и записывать их механическим способом (французский патент № 145584). В 1882 году П.М. Голубицкий получил в России по заявке от 12 августа 1882 года привилегию (№ 15) и в Германии патент (№ 22634) на предложенные им двух- и четырехполюсные телефоны, показавшие преимущества перед применявшимися однополюсными телефонами. Изобретатель разработал первую конструкцию микрофона с угольным порошком. На это изобретение

ему был выдан в 1883 году во Франции патент (№ 155643), в России в 1897 году привилегия (№ 33) по заявке от 14 января 1885 года.

П.М. Голубицкий создал наиболее совершенную для того времени схему и конструкцию телефонного аппарата, главная идея которого – изменение коммутации цепей в зависимости от положения телефонной трубки – получила в дальнейшем развитие и, как известно, лежит в основе современных универсальных аппаратов (привилегия № 15, выданная в 1887 году, по заявке от 12 августа 1882 года).

П.М. Голубицкий работал над внедрением телефонной связи в промышленность и транспорт. Решающее влияние на последующее развитие телефонных сетей оказала предложенная им телефонная станция с центральной батареей. Уже в 1886 году О.Д. Хвольсон сообщал «об изобретенной Голубицким системе микротелефонного сообщения с батареями, сосредоточенными в центральном бюро, которыми и пользуются абоненты, не имеющие у себя гальванических элементов, как для сигналов, так и для разговора».

Система питания абонентских аппаратов от центральной батареи, впервые разработанная П.М. Голубицким, не только облегчила обслуживание телефонных сетей, но, что еще важнее, открыла возможность устройства центральных телефонных станций с десятками тысяч абонентских точек. В дальнейшем система центральной батареи явилась необходимой предпосылкой для автоматизации работы телефонных станций (АТС).

Многочисленные работы других русских изобретателей касались главным образом усовершенствования телефонных аппаратов и разработки телефонных устройств специального назначения. Известны заслуги в создании угольного микрофона Г. Махальского.

Военный инженер подполковник В.Б. Якоби (сын академика Б.С. Якоби) в 1881 году разработал миниатюрный телефонный аппарат «телекаль», предназначенный для военно-полевой связи. Изобретения профессора Львовского университета Ю. Охоровича позволили впервые осуществить в 80-х годах громкую передачу концертов, явившуюся предшественницей проводного вещания.

Известный русский врач Р. Р. Вреден в 1880 году изобрел ряд специальных электроакустических приборов. Морской офицер-электрик Е.В. Колбасьев в 80-х годах создал корабельный и подводный телефоны.

Оригинальные микрофоны н телефоны, удовлетворявшие различным специальным требованиям, были созданы А.А. Столповским (1884 год), Ф.И. Балюкевичем (1892 год), В.М. Нагорским (1898 год).

Значительными были также успехи русских специалистов в решении задачи организации дальней телефонной связи. Первые в России опыты телефонной связи на значительные расстояния были предприняты военными. В 1878 году В.Б. Якоби установил телефонную связь между островами Трапезундского пролива на расстоянии более 7 км, а затем по воздушной линии военного телеграфа на расстоянии около 30 км. Военный инженер Г.Г. Игнатьев в 1878 году предпринял опыты одновременного телефонирования и телеграфирования по одной линии. 29 марта 1880 года он впервые продемонстрировал свое изобретение в Киевском университете, затем его использовали в русской армии.

Оригинальные работы в области одновременного телефонирования и телеграфирования, ставшие известными и за границей, были осуществлены инженером Е.И. Гвоздевым в 1888-1889 годах. Связь действовала на расстоянии 295 км.

Труды Г.Г. Игнатьева и Е.И. Гвоздева легли в основу практического осуществления частотного уплотнения линии связи.

Важным событием в истории становления телефонии в России было строительство магистрали Петербург-Москва, начатое в 1898 году под руководством инженера А.А. Новицкого. В то время телефонных линий такой протяженности в Европе не существовало. Технический проект, разработанный русскими специалистами, во многих отношениях был весьма оригинален. Результаты работ по проектированию магистрали были обобщены профессором П.Д. Войнаровским, который стал автором первого опубликованного «Теоретического и практического руководства по телефонии».

К концу прошлого столетия период становления телефонии

завершился. Быстро росла городская телефонная сеть, решались задачи автоматизации телефонных соединений.

6.2. Развитие систем телефонной коммутации

Для обеспечения передачи речи между определенными абонентами наряду с телефонными аппаратами (устройствами ввода и вывода речи) и телефонными линиями и каналами (обеспечивающими передачу речи на расстояние) необходимо коммутационное оборудование, обеспечивающее соединение между соответствующими телефонными аппаратами. Развитие коммутационных устройств началось сразу после появления первых телефонов и шло параллельно с развитием устройств передачи.

В первые годы использовали ручные телефонные коммутаторы. Начиная с 1877 года в Америке широко применяют ручной ламельный коммутатор венгерского изобретателя Т. Пушкаша. Несколько позже американская фирма Белла начинает выпускать также ламельные коммутаторы (коммутаторные доски системы Гилиланда) на 50-90 линий, которыми, в частности, были оборудованы первые телефонные станции в Петербурге, Москве, Одессе и Риге (1882 год). В конце восьмидесятых годов ламельные коммутаторы начинают уступать место более совершенным и удобным шнуровым коммутаторам с многократным полем емкостью в несколько сот линий. Для вызова телефонистки сначала применяли устанавливаемые у абонента батареи электрических элементов, а позднее – индукторы, создающие переменный ток при вращении ручки. Для подачи сигнала вызова абоненту использовали звонки постоянного, а позже – переменного тока, сохранившиеся до настоящего времени. Микрофоны в аппаратах абонентов также питались от местной батарей, что и дало название всей системе – МБ. Коммутаторы такого типа, сначала с одпопроводными, а позже с двухпроводными линиями, выпускавшиеся в США, Швеции, Бельгии, России и многих других странах, просуществовали до 50-х годов XX века.

Дальнейшим развитием систем ручных коммутаторов стал переход к центральной батарее (ЦБ) – обеспечению питания всех

абонентов с центральной телефонной станции. При этом упростился и способ вызова телефонистки: при простом снятии микротелефонной трубки с рычага аппарата замыкалась цепь постоянного тока от ЦБ и на коммутаторе появлялся вызывной сигнал. Конструкцию шнурового коммутатора ЦБ, просуществовавшего почти 70 лет, запатентовал в 1887 году русский инженер П.М. Голубицкий. Усовершенствование телефонных аппаратов и применение коммутаторов ЦБ позволило резко уменьшить абонентскую плату, а это, в свою очередь, повысило спрос на телефоны. Так, в результате проведенной в 1900 – 1902 годах модернизации оборудования городских телефонных сетей в самых крупных городах России (Петербург, Москва, Одесса) абонентская плата была снижена примерно в 5 раз, с 250 до 48-79 рублей в год. Если к началу XX века в крупнейших столичных городах насчитывалось не более нескольких тысяч абонентов, то к концу первого десятилетия емкости многих городских телефонных сетей исчислялись уже десятками тысяч.

Увеличение емкости телефонных сетей шло двумя путями. С одной стороны, создавали несколько станций, что усложняло процесс установления соединений, а с другой - укрупняли многократное поле коммутаторов.

Дальнейшее увеличение емкости телефонной станции было достигнуто применением распределительной системы, в которой «немая» телефонистка соединяла вызывающего абонента со шнуром «говорящей» телефонистки, спрашивающей и устанавливающей соединение с нужной линией. При этом с поля коммутатора основной телефонистки убирались гнезда местных линий и она оперировала только одним шнуром со штепселем. Это позволило при диаметре гнезд (штепселей) 3,5 мм разместить на многократном поле 60 тысяч гнезд, как это было сделано на центральной московской телефонной станции, построенной фирмой Эриксон и введенной в эксплуатацию в 1904 году (первая подобная станция была построена в Стокгольме в 1900 году). В Петербурге в 1905 году была пущена станция на 80 тысяч номеров, состоящая из двух групп по 40 тысяч, и выбор группы (А или В) осуществлял абонент, нажимавший одну из двух

специальных кнопок на аппарате. Для ручных станций это оказалось пределом.

Попытки создать автоматические системы коммутации начались сразу же после изобретения телефона, однако практическое их внедрение началось только в XX веке. Конец XIX века ушел на поиск основных принципов автоматизации и создания технических решений осуществления переключения, выбора конструкции контактов, способов приведения искателей в движение и управления ими, а также группообразования.

Уже в 1879 году изобретатели М.Д. и Т.Э. Кеннели и Т.И. Мак-Тай в США запатентовали шаговый искатель с электромагнитным приводом с одним круговым движением щеток.

В 1883 году Т.Э. Кеннели создает искатель с прямолинейным движением щетки за счет груза. Импульсы тока шли из аппарата абонента.

В 1887 году русский изобретатель К.А. Мосцицкий создает «самодействующий центральный коммутатор» на реле с питанием из аппаратов абонентов и индукторным вызовом.

В 1889 году Алмон Браун Строугер (Almon Brown Strowger), из-за подозрения, что жена его конкурента, оператор телефонной станции, переадресовывает деловые запросы в компанию своего мужа, создал коммутационный автоматический узел, в который раз подтвердив высказывание: «Necessity is the mother of invention» («Потребность – мать изобретения»). Для продвижения изобретения на рынок, основал в 1891 году компанию «Strowger Automatic Exchange» (с 1901 года – «Automatic Electric Co.», позднее «General Telephone and Electronics»). Первоначально нужный абонент выбирался набором комбинации из трех кнопок. В дальнейшем были предложены различные усовершенствования, в т.ч. прототип дискового номеронабирателя (1897 год), который используется до настоящего времени. В дисковом номеронабирателе телефона Строугера не было отверстий, а были выемки подобные зубьям большой шестеренки, занимавшие сектор около 170°. Первая автоматическая система запущена в коммерческое использование в Ла-Порте (штат Индиана) в 1892 году. Система позволяла

соединяться с 99 абонентам. Компания Строугера представляла усовершенствованные модели телефонов: в 1901 году – настольный аппарат с дисковым номеронабирателем; в 1902 году – аппарат с дисковым номеронабирателем с отверстиями; в 1905 году – отверстия, занимающие большую часть периметра диска. Последняя модель увидела свет в 1907 году. После 1914 года патент Строугера утратил силу, и больше имя изобретателя не упоминалось в сводках технических изданий. Дисковый принцип набора номера получил широкое распространение с 1922 по 1961 год (появление тонального набора) и оставался стандартным методом вызова в телефонии.

Рис. 30. Настенный телефонный аппарат Строугера с 10-цифровым дисковым номеронабирателем, 1899 год

Рис. 31. Настольный телефонный аппарат Строугера с 11-знаковым дисковым номеронабирателем, 1905 год

В 1893 году русские изобретатели М.Ф. Фрейденберг и С.М. Бердичевский-Апостолов в Одессе предлагают «телефонный самосоединитель» - искатель с двумя прямолинейными движениями щеток, управляемый импульсами, идущими от пульс-схемы из аппарата абонента, причем число шагов отмечается цифрами на аппарате. Модель такой станции на 250 номеров с четырьмя аппаратами, изготовленная в мастерской Новороссийского университета в Одессе под руководством механика И.А. Тимченко, демонстрировалась в Одессе, Петербурге, Вене и Париже, где система и была запатентована.

В 1895 году М.Ф. Фрейденберг, совершенствуя свою систему, изобретает один из важнейших узлов современных АТС –

предыскатель, позволивший во много раз сократить число искателей на станции. В своей заявке он пишет: «Если взять, например, систему на 10000 абонентов, та почти невероятно, что более 1000 из них будут вести разговор одновременно. Поэтому вполне достаточно предоставить возможность вести одновременные разговоры пятистам парам абонентов, в то время как при прежних системах могли говорить 5000 пар абонентов». И он пишет: «... вместо того, чтобы применять контактную площадку (так тогда называли искатель) для каждого абонента, я предлагаю применить меньшее число этих площадок и устройства, позволяющие любому абоненту использовать каждую площадку, если только она не занята...». Предыскатель М.Ф. Фрейденберга запускался при поступлении от абонента импульса тока, включающего электродвигатель, приводящий в прямолинейное движение каретку со щеткой. Контакт замыкался, доходя до выхода к свободному искателю, автоматически выключался двигатель, а занятый выход механически блокировался после нажатия на подвижной поперечный брус, проходящий под всеми предыскателями. Так впервые было реализовано свободное искание и применен предыскатель. Фирма А.Б. Строугера использовала свободное искание лишь в 1897 году.

При дальнейших работах по совершенствованию систем АТС М.Ф. Фрейденберг в 1896 году создает и патентует искатель машинного типа с общим полем, приводимый в движение не индивидуальным электродвигателем, как предыскатель, а подключением к непрерывно вращающемуся валу. Запуск осуществлялся из аппарата абонента, и посылаемые из искателя импульсы считались «счетчиком-манипулятором» в аппарате; когда искатель делал нужное число шагов, он останавливался. Подобный принцип управления машинами искателем был значительно позже использован в машинной системе шведской фирмы Эриксон, в ко-торой роль «счетчика-манипулятора» выполнял установленный па станции регистр, фиксирующий номер, набираемый абонентом, и осуществляющий управление исканием. В том же 1896 году М.Ф. Фрейденберг предлагает для увеличения емкости станции применить групповой искатель, но еще без свободного искания.

Для реализации изобретений М. Ф. Фрейденберга в Англии создается акционерное общество «Freudenberg Automatic Telephone Syndicate, Limited», однако оно не могло выдержать конкуренции с более мощными компаниями, производящими и эксплуатирующими ручные станции.

В 1893 году Ф. Лундквист и братья Дж. и Ч. Эриксон патентуют в Америке искатель с двумя прямолинейными движениями щеток, а в 1894 году создают искатель с одним прямолинейным движением щеток и общим струнным полем с электромагнитным шаговым приводом и поворотом щеток. При этом они используют общее струнное поле для группы искателей.

С М. Бердичевский-Апостолов в 1896 году создает оригинальную систему АТС с «перекрестной» системой выбора линии одного абонента на 10000 номеров с помощью двух 100-линейных шаговых искателей с одним прямолинейным движением щеток.

К началу XX века были разработаны основные принципы создания автоматических телефонных станций со щеточными искателями и началось их практическое внедрение, причем первые два десятилетия ушли на формирование и отработку конструкций. Наряду с декадно-шаговыми системами фирмы Строугера, нашедшими широкое применение в Англии и Америке, появилась машинная система типа Ротари, разработанная в 1913 году фирмой Вестерн и нашедшая широкое применение в Европе. В 1919 году появляется АТС панельной системы, вошедшей в эксплуатацию в США и применявшейся до середины XX века.

Недостатки щеточных искателей – малая надежность, сравнительно медленное действие и плохое качество контакта с трущимися поверхностями, создающие помехи разговору, вызвали необходимость поиска новых решений, прежде всего с использованием контактов релейного типа. В 1913 году в США Дж. Рейнольдсом был запатентован механизм управления контактами релейного типа пересекающимися шинами. В 1919 году шведский инженер Г. Бетуландер усовершенствовал конструкцию, создав устройство, получившее название многократного координатного

соединителя (искатель кроссбар), которое начали применять в АТС с середины двадцатых годов.

7. ИЗОБРЕТЕНИЕ РАДИОСВЯЗИ И НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП РАДИОТЕХНИКИ

К концу XIX века проводная электрическая связь существовала между многими городами и странами мира. Однако она ограничивалась лишь неподвижными объектами и для движущихся объектов была непригодна. Более всего ощущали отсутствие надежного средства связи мореплаватели всех стран мира. На море одним из самых распространенных видов передачи сообщений была визуальная (семафорная, флажная и световая) сигнализация. Однако эти виды сигнализации не могли полностью решить задачу беспроводной связи, так как они были непригодны при неблагоприятных метеорологических условиях и, кроме того, обладали демаскирующим свойством, что ограничивало их использование в военном деле.

Делались попытки создать и электрические средства беспроводной передачи информации. Для этой цели использовали проводимость воды, а на суше – почвы (К. Штейнгель, 1838 год; С. Морзе, 1842 год и др.). Однако в этих опытах заметных успехов достигнуто не было. Истории известны опыты применения для беспроводной связи электростатической и электромагнитной индукции (Т. Эдисон, А. Белл, Д. Траубридж, В. Прис). Но и эти попытки не дали практических результатов: слишком мала была дальность связи. Более заметные успехи были достигнуты в области сигнализации с помощью электрического света.

Полностью реализовать сигнализацию без проводов, отвечающую всем требованиям морского дела, удалось с применением электромагнитных волн. Это стало возможно после работ выдающегося немецкого физика Генриха Рудольфа Герца (Heinrich Rudolf Hertz) (1857 - 1894) одного из основоположников электродинамики. Он экспериментально доказал существование электромагнитных волн. В 1887 году подтвердил гипотезу Максвелла

1864 года, о единстве природы световых и электрических явлений. Герц сконструировал генератор и приемник электрических колебаний для изучения индукционного действия колебательного контура генератора на колебательный контур приемника при расстоянии между ними около 3 м. В дальнейшем наблюдал тот же эффект на расстоянии около 14 м.

Вскоре после открытия Герца ученые и изобретатели разных стран стали высказывать идеи о практической применимости электромагнитных воли для беспроводной связи. Одно из таких предложений содержалось в редакционном примечании журнала «Электричество» от 1890 года к статье о работах Герца видного русского физика и педагога О. Д. Хвольсона. Была высказана мысль, что открытие Герца, возможно, представляет собой зародыш новых отделов электротехники, таких, например, как «телеграфия без проводов наподобие оптической».

Более определенно идею применения электромагнитных волн для связи сформулировали английский ученый Вильям Крукс (William Crookes) (1832 – 1919) и выдающийся электротехник Никола Тесла (Tesla) (1856 – 1943).

Многие исследователи повторяли опыты Герца и изучали открытые им явления. Среди них О. Лодж, Э. Бранли, Д. Бос. Э. Лехер, Р. Блондло, М. Пупин, Д. Минчин, Л. Слаби, Л. Риги, а также наши соотечественники А. Столетов, Н. Егоров и, конечно, А. Попов, которому принадлежит честь изобретения радиосвязи. Очень интересные результаты в изучении электромагнитных волн получили французский физик Э. Бранли и английский физик О. Лодж. Эдуард Бранли (Edouard Eugene Desire Branly) (1844 – 1940), французский физик, в 1890 году установил, что близлежащее электромагнитное возмущение может понизить сопротивление тонкого слоя медного порошка. На основе этого явления он построил индикатор электромагнитных волн, назвав его «радиокондуктором». Прибор Бранли в его наиболее известной форме представлял собой небольшую стеклянную трубочку с двумя электродами, между которыми были насыпаны металлические опилки. Электроды радиокондуктора включались в цепь электрической батареи и гальванометра. При

воздействии электромагнитной волны на прибор электрическое сопротивление его резко уменьшалось и стрелка гальванометра отклонялась. Тем самым можно было регистрировать воздействие электромагнитных волн. После изменения сопротивления радиокондуктор уже не реагировал на волну до тех пор, пока опилки слегка не встряхивали. В необходимости встряхивания состояло существенное неудобство применения радиокондуктора.

Оливер Джозеф Лодж (Oliver Joseph Lodge) (1851–1940), британский физик и писатель, в 1894 году усовершенствовал изобретенный Бранли радиокондуктор и дал ему новое название – «когерер», под которым он и вошел в историю. Лоджем был применен часовой механизм для встряхивания опилок через равные промежутки времени. Лодж выступал с лекциями по радиотелеграфной связи, в частности: «Работы Герца и некоторых из его преемников», в которых подчеркивал, что «порошки Бранли» были «наиболее чувствительными из датчиков волн Герца». В опытах Лоджа когерер чувствовал влияние искры на расстоянии 40 ярдов (36 м).

Преподаватель Минного офицерского класса в Кронштадте физик-электрик Александр Степанович Попов (1859–1905/06) занялся изучением электромагнитных волн вскоре же после сообщения о первых работах Герца. Попов понял, что открытые Герцем явления можно применить для беспроводной связи на расстояние. Из переписки А.С. Попова с коллегами можно заключить, что эта мысль сформировалась у него уже в начале 90-х годов. К этому времени он создал высокочастотный искровой генератор, в схеме которого содержались все элементы радиопередатчика, пригодного для связи (ртутный прерыватель, телеграфный ключ, симметричный вибратор). Уже в 1894 году А, С. Попов настойчиво искал необходимые для беспроводной связи конструктивные решения, сосредоточив внимание на разработке надежного и чувствительного приемного устройства.

Изобретатель поставил перед собой две задачи, которые определили два этапа его исследований на пути к созданию радиосвязи. Первый этап определялся поисками чувствительного и

наглядного индикатора электромагнитных волн. Второй этап был связан с конструктивным синтезом всех известных в то время в науке и технике компонентов для создания приемного аппарата, пригодного для беспроводной связи.

Зная о работах Э. Бранли и О. Лоджа, А.С. Попов выбрал в качестве индикатора электромагнитных волн когерер. Следует, однако, отметить, что в тогдашнем виде когереры Бранли и Лоджа еще не могли быть эффективно использованы для связи. Произвольность момента встряхивания когерера, т. е. момента, определяющего его готовность к работе, не обеспечивала прием всех без исключения посылок волн. Прием сигналов был невозможен в период между срабатыванием прибора и встряхиванием. Это и понятно, так как ни Бранли, ни Лодж не ставили перед собой задачу осуществления связи и лишь экспериментально изучали открытые Герцем явления.

Серия опытов позволила А.С. Попову создать к началу 1895 года конструкцию достаточно чувствительного когерера, пригодного для лекционных демонстраций опытов Герца, а также сигнализации на расстояния, значительно превышающие размеры учебных и лекционных помещении.

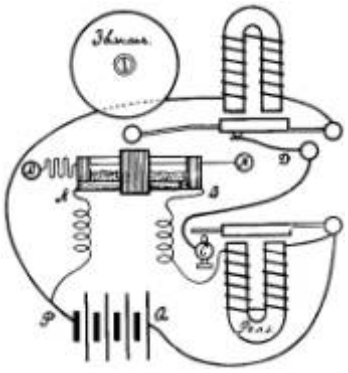


Рис. 32. Схема первого радиоприемника А.С. Попова 1895 года

О второй из упомянутых задач А.С. Попов говорил следующее: «...я поставил себе еще другую задачу: добиться такой комбинации, чтобы связь между опилками, вызванная электрическим колебанием, разрушалась немедленно автоматически». В начале 1895 года ученый сконструировал переносный прибор, схема которого изображена на рисунке 33, взятом из его статьи в январском номере «Журнала Русского физико-химического общества» от 1896 года.

Электрическое сопротивление когерера, последовательно

включенного в цепь чувствительного электромагнитного реле и гальванической батареи, резко изменялось в поле электромагнитной волны, что вызывало срабатывание реле. При этом контакты реле замыкали цепь электрического звонка, который сигнализировал о приеме колебаний ударом по колокольчику. При обратном движении молоточек звонка ударял по когереру, встряхивал опилки и когегер мгновенно возвращался в чувствительное состояние. Таким образом, каждое срабатывание прибора вызывало звуковой сигнал и самовосстановление его работоспособности. Этот принцип автоматического восстановления чувствительности когерера и был важной отличительной принципиальной особенностью прибора А.С. Попова в сравнении с предшествующими аппаратами Бранлн и Лоджа. А.С. Попов четко понимал это, отмечая, что «такая комбинация, конечно, удобнее, потому что будет отвечать на электрические колебания, повторяющиеся одно за другим».

В качестве передающего устройства А.С. Попов использовал вибратор, работающий от высоковольтной катушки Румкорфа, который применялся им также и для лабораторного показа опытов Герца. Мощность этого излучателя была вполне достаточной для осуществления первых опытов по радиосвязи. В качестве излучателя А.С. Попов применил симметричный вибратор, состоящий из прямолинейных металлических стержней, с шариками искрового разрядника на сближенных концах, оканчивающихся «квадратными листами 40 сантиметров в стороне». Такой вибратор давал возможность проводить опыты на больших расстояниях, С целью увеличения расстояния А. С. Попов присоединил к приемному устройству вертикальный провод длиной 2,5 м. Таким образом, он в первых опытах использовал своеобразные антенные системы. Прообраз таких антенн был применен Н. Теслой в 1893 году.

Опыты с построенным А.С. Поповым «прибором для обнаружения и регистрирования электрических колебаний» дали вполне обнадеживающие результаты; беспроводная сигнализация четко действовала не только в физическом кабинете, но и в саду Минного офицерского класса в Кронштадте. А.С. Попов убедился, что его приборы могут хорошо служить для осуществления

беспроводной связи на расстояние. Сначала расстояния были невелики (несколько десятков метров), но постепенно, совершенствуя свои приборы, ученый добился передачи сигналов на значительно большие расстояния.

На заседании Физического отделения Русского физико-химического общества, которое состоялось в помещении физического кабинета Петербургского университета 25 апреля (7 мая) 1895 года, А.С. Попов выступил с докладом об опытах передачи сигналов с помощью электромагнитных волн и продемонстрировал в действии свои приборы.

Сообщение об этих работах А.С. Попова было помещено в газете «Кронштадтский вестник», а краткий протокол заседания опубликован в «Журнале РФХО». Подробный отчет о своей работе, описание и схему построенного прибора А.С. Попов поместил в январском выпуске упомянутого журнала.

Во время опытов А.С. Попов обнаружил, что его прибор реагирует не только на электромагнитные колебания от вибратора Герца, но также и на грозовые разряды в атмосфере. Ученый заинтересовался этим явлением и применил свое изобретение для метеорологических целей, и в частности для предупреждения о надвигающихся грозах. Для этого летом 1895 года он построил еще один специальный прибор, который записывал атмосферные электрические разряды на движущейся бумажной ленте. Этот прибор был стационарным в отличие от первого переносного радиоприемника. Он был установлен на метеорологической станции Лесного института в Петербурге и получил впоследствии наименование «грозоотметчика».

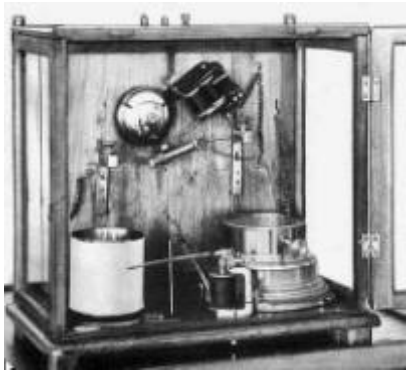


Рис. 33. Грозоотметчик А.С. Попова (внешний вид)

Летом 1896 года А.С. Попов использовал грозоотметчик на электростанции Нижегородской ярмарки в качестве прибора, указывающего на приближение грозы.

После первых успехов радиосвязи А.С. Попов занялся усовершенствованием построенного им прибора с целью повышения надежности его работы и увеличения дальности действия связи. Работу своего усовершенствованного аппарата изобретатель продемонстрировал на двух лекциях 19 (31) января и 12 (24) марта 1896 года. Важное значение имел его доклад 19 (31) января на заседании Кронштадтского отделения Русского технического общества, на котором присутствовали представители военно-морского ведомства. Специалисты высоко оценили новое средство беспроводной связи для морских применений. Сообщение об этом докладе появилось в пяти печатных изданиях.

Не менее важно отметить выступление проф. В.В. Скобельцына в Электротехническом институте 2 (14) апреля 1896 года. Он рассказал о работах А.С. Попова и показал его приборы в действии. Радиосвязь осуществлялась из одного здания Института в другое.

К весне 1897 года А.С. Попов, установив свои приборы на кораблях Балтийского флота, добился связи на расстоянии до 5 верст (5,5 км). Таким образом, была решена поставленная ученым задача по созданию нового средства связи, которое позже стало называться «радио» и которому суждено было не только открыть эпоху в развитии электросвязи, но и стать началом важного направления научно-технического прогресса.

Изобретение радиосвязи А.С. Поповым не было случайным. Не случайно появилось оно и в России. Можно назвать, по крайней мере, три причины, объясняющие это. Первая – глубокие исторические корни, русские ученые еще со времен М.В. Ломоносова и Г. Рихмана уделяли большое внимание изучению электрических явлений. Их труды внесли огромный вклад в мировую электротехническую науку. Вторая причина – хорошая постановка электротехнического образования в России, где специалисты-электрики получали высокую квалификацию на уровне достижении передовой науки того времени. И, наконец, третья причина заключалась в том, что в конце XIX века быстро развивался русский флот, испытывая острую потребность в надежном средстве дальней связи на море. А.С. Попов, работая в Минном офицерском классе, передовом морском учебном заведении,

был прекрасно осведомлен о всех насущных нуждах флота и имел хорошую научную подготовку в области физики электромагнитных явлении.

Новый вид связи был претворен в налаживании радиотелеграфной связи между о. Гогланд и о. Кутсало в Финском заливе на расстоянии около 45 км. Эта линия связи была осуществлена А.С. Поповым и его помощниками зимой 1899 года во время работ по спасению потерпевшего аварию броненосца «Генерал-адмирал Апраксин». Знаменательно, что одна из первых радиограмм содержала приказ ледоколу «Ермак» спасти рыбаков, унесенных на льдине в море.

Летом 1896 года в прессе стали появляться сообщения об опытах итальянца Гульельмо Маркони (Marconi) (1874 – 1937) с электромагнитными волнами. В сентябре 1896 года было сообщено о беспроводной передаче сигналов Г. Маркони в районе Солсбери (Англия) на расстоянии 1,75 мили, а весной 1897 года он достиг дальности передачи 9 миль.

В июне 1897 года главный инженер английской телеграфной службы Сэр Вильям Прис прочитал лекцию в Королевском институте, из которой впервые можно было составить представление об устройстве прибора Г. Маркони. За исключением второстепенных деталей, приборы Г. Маркони были полностью аналогичны аппаратам, которые разработал А. С. Попов за полтора года до этого.

В июне 1896 года Г. Маркони подал заявку на патент, а в марте 1897 года на дополнительные уточнения к ней. 2 июля 1897 года ему был выдан английский патент (№ 12039) на «Усовершенствования в передаче электрических импульсов и сигналов и в аппаратуре для этого».

Попытки Маркони запатентовать свои приборы в других странах, где патентным правом предусматривалась экспертиза на абсолютную новизну, не увенчались успехом (кроме Италии). В патентах ему неизменно отказывали, ссылаясь на публикации А. С. Попова.

Расстояния, на которые можно было передавать сигналы с помощью радио, быстро возрастали. В 1901 году Г. Маркони удалось

передать радиосигнал из Англии (Полдью) в Америку (Ньюфаундленд) на расстоянии 3500 км. Посланная радиограмма состояла всего из одной буквы «С», которая была выбрана потому, что в использованном телеграфном коде Морзе передавалась как три одинаковых коротких посылки – точки. Это было существенным завоеванием радиосвязи, означавшим, что новому средству связи подвластны уже трансатлантические масштабы. Для осуществления этой межконтинентальной радиопередачи потребовалась антенна высотой 48 м и искровой радиопередатчик мощностью 25 кВт.

Беспроводная связь быстро развивалась, прежде всего, как достаточно удобное средство общения людей, разделенных расстоянием или природными препятствиями.

Вначале для обозначения нового средства связи использовали такие термины, как «беспроводная связь», «сигнализация без проводов». В 1903 году на Международной конференции по беспроводному телеграфированию был рекомендован термин «радио», который постепенно вошел в употребление и в настоящее время применяется повсеместно.

Вслед за первой радиотехнической компанией, которая была основана Г. Маркони в Англии в 1897 году, в различных странах стали создавать фирмы для разработки радиотехнической аппаратуры. Новая область техники привлекла внимание многих ученых и инженеров. Во Франции прогресс радиотехники связан с именами Э. Дюкрете, выпускавшего на своем небольшом предприятии аппаратуру А.С. Попова, а также А. Блонделя, Г. Ферье, К. Тиссо и др. В Германии энтузиастами радиосвязи были А. Слаби, Г. Арко и К.Ф. Браун. В 1903 году образовалась немецкая радио-техническая фирма «Телефункен», внесшая большой вклад в развитие радиотехнического дела. Компании «Маркони» и «Телефункен» выросли в крупнейшие, конкурирующие между собой радиотехнические предприятия Европы.

В России также возникла собственная радиопромышленность. Она развилась на базе Кронштадтской радиомастерской (1900 год), переведенной в 1910 году в Петербург и преобразованной сначала в «Радиотелеграфное депо Морского ведомства» (1911 год), а затем в

Радиотелеграфный завод (1915 год). Кроме того, в дореволюционной России в разное время существовало несколько частных радиопредприятий и филиалов зарубежных фирм.

Первые шаги техники радиосвязи характеризуются развитием искровых систем для передачи электромагнитных сигналов. Радиопередающие устройства искрового типа работали по принципу импульсного (ударного) возбуждения колебательных контуров и излучали затухающие посылки электромагнитных волн. Уже на самых ранних этапах радиотехники стало ясно, что «завоевание пространства», т. е. увеличение дальности передачи, связано прежде всего с увеличением мощности передающего устройства. Эта мысль была четко сформулирована в первом публичном сообщении изобретателя радио А.С. Попова. Инженеры быстро поняли, что решение этой задачи связано с увеличением геометрических размеров антенных систем и их подъемом над уровнем земли. Стремление делать антенны большими и высокими приводило к увеличению их электрической емкости. Так как антенна являлась в то время составной частью колебательного контура передатчика, то вполне естественно, что такие передатчики работали на длинных волнах. Таким образом, в первое десятилетие развития радио произошло стихийное увеличение рабочих длин волн до нескольких тысяч метров.

В развитии искровых радиосистем очень быстро возникло своеобразное противоречие. С одной стороны, для достижения больших дальностей связи работа на длинных волнах требовала больших мощностей, с другой стороны, применение затухающих волн, получаемых в колебательных системах с ударным возбуждением, в значительной степени (пропорционально затуханию) сводило на нет меры по увеличению мощности. Мощные передатчики затухающих волн работали с очень высокими напряжениями на антеннах, достигавшими порой нескольких десятков киловольт. В таких высоковольтных антеннах возникал коронный разряд и электрический пробой, резко возрастали потери энергии. Появилось множество серьезных технических трудностей при построении антенных систем для мощных искровых

передатчиков. Приблизительно к 1905 – 1907 годам был достигнут практический предел увеличения мощности искровых передатчиков длинных волн, а следовательно, и предел увеличения дальности. Эти обстоятельства вынуждали техническую мысль искать способы получения и применения для нужд радиосвязи слабозатухающих или даже незатухающих электромагнитных волн.

В первые годы развития радио произошли принципиальные изменения в технике радиоприема. В 1899 году. П.Н. Рыбкин и Д.С. Троицкий, работая с аппаратурой А.С. Попова, обнаружили, что приемник способен регистрировать сигналы без периодического встряхивания когерера. При этом в качестве индикатора использовали не звонок, а телефонные трубки, на которые удавалось принимать очень слабые сигналы. Это было первым использованием явления детектирования в радиотехнике. Детектором в данном случае служил металлический порошок когерера, обладавший выпрямительными свойствами при очень малых токах.

Вскоре на смену когерерным приемникам пришли приемники с детекторами на кристаллических полупроводниках (кристаллы цинкита и галенита) и телефонной трубкой в качестве индикатора. Они работали надежнее и имели более высокую чувствительность. Телефонный детекторный радиоприемник, сменивший когерерные устройства со звонковой сигнализацией, стал самым распространенным устройством для приема радиосигналов почти до середины 20-х годов XX века. Главным его достоинством, кроме высокой чувствительности, была возможность различать «на слух» весьма слабые телеграфные сигналы на фоне атмосферных разрядов. Совершенствование детекторных радиоприемников продолжалось почти до 30-х годов XX века, и даже выход на техническую арену электронных ламп (середина первого десятилетия) не сразу внес в эту технику существенные изменения.

Первое десятилетие развития радиоприемной техники характеризовалось прежде всего широким использованием резонансных явлений для увеличения чувствительности приемников, а по мере возрастания числа радиостанций – и для получения хорошей избирательности по частоте, т. е. способности принимать

только нужную станцию. Второе направление работ связано с конструированием различных типов детекторов («волноуказателей» - в терминологии того времени). Кроме кристаллических полупроводников, было использовано множество иных видов детекторов, основанных на различных физических явлениях – от магнитного гистерезиса до электролитических свойств жидкостей.

К первым годам XX века относятся практические применения в радиотехнике незатухающих электромагнитных колебаний. Источниками таких колебаний служили дуговые генераторы и специальные электрические машины высокой частоты. Переходу на незатухающие колебания предшествовали разнообразные технические попытки улучшить качество сигналов, передаваемых устройствами искрового типа, путем уменьшения затухания генерируемых колебаний. Примером таких попыток могут служить радиопередающие устройства системы К. Брауна (1902 год) и М. Вина (1906 год). Однако наибольший эффект был достигнут в передатчиках с так называемой «звучащей искрой». Суть метода состояла в том, что в искровом передатчике затухающих волн прерывали искровой разряд с частотой порядка нескольких тысяч раз в секунду. В радиоприемнике работа таких передатчиков воспроизводилась, как телеграфный сигнал звукового тона.

Рис. 34. 1000 кВт дуговой конвертер Поулсена (Lafayette Radio Station)

В передающих устройствах незатухающих колебаний наибольшее распространение сна чала получили дуговые генераторы, среди которых следует отметить хорошо известную конструкцию 1902 года датского инженера Вальдемара Поулсена (Valdemar Poulsen) (1869–1942).

В дуговых генераторах его системы удавалось получать довольно значительные для того времени мощности порядка сотен киловатт.

Почти одновременно с дуговыми генераторами в радиопередатчиках стали использовать и электрические машины

высокой частоты. Этот тип передающих устройств незатухающих волн отличался тем, что генерировал периодические колебания почти синусоидальной формы. Мощности достигали сотен киловатт. Для радиотехнических применений строили специальные машины, способные генерировать переменные токи достаточно высоких частот (вплоть до 30-40 кГц). Большую известность приобрели машины высокой частоты американских инженеров Реджинальда А. Фессендена (Reginald Arbrey Fessenden) (1866–1932) и Э. Александерсона, немецких конструкторов Р. Гольдшмидта и Г. Арко, французского ученого Ж. Бетено. В России ряд конструкций машин высокой частоты создал В.П. Вологдин.

Применение дуговых и электромашинных передатчиков позволило сделать значительный шаг в развитии радиотелеграфии. Мощные радиостанции длинных волн обеспечивали устойчивые радиотелеграфные связи на расстояния в тысячи километров.

7.1. Возникновение и развитие радиотелефонирования

К первому десятилетию XX века относятся начальные эксперименты по радиотелефонированию. Уже в 1902 – 1904 годах были проделаны успешные попытки передать по радио звуковые сигналы методами искровой радиотехники (С.Я. Лифшиц, 1902 год и К. Майорана, 1904 год). С помощью дуговых и электромашинных радиопередатчиков также были проведены интересные работы по радиотелефонированию. Однако на базе существовавшей тогда радиопередающей техники нельзя было ожидать больших успехов в развитии радиотелефона. Среди многих причин, сдерживавших развитие радиотелефонирования, самая существенная состояла в том, что принципиальные и конструктивные особенности дуговых и электромашинных передатчиков лишь с очень большими трудностями допускали управление амплитудой колебаний, необходимое для радиотелефонии. Поэтому до появления электронной лампы радиотелефония не получила широкого применения в радиотехнике, не выходя за рамки отдельных, порой принципиально очень интересных, экспериментальных работ.

Интенсивное развитие дальних радиотелеграфных связей,

потребовавшее тщательного изучения законов излучения и распространения радиоволн, способствовало становлению радиофизики как пограничной между физикой и радиотехникой области знания. В новой области науки стали работать впоследствии известные ученые, в том числе лорд Рэлей, А. Пуанкаре, А. Зоммерфельд, Б. Ван-дер-Поль, М. В. Шулейкин и др. За два десятилетия развития радио в области науки о распространении радиоволн был накоплен большой экспериментальный и теоретический материал, позволяющий приближенно рассчитывать напряженность электромагнитного поля длинных волн в зависимости от мощности передатчика, расстояния и высоты антенны. Опыт и теория показывали, что сила сигнала в точке приема пропорциональна длине волны. Эти данные способствовали развитию радиосвязи на все более длинных волнах. К концу второго десятилетия длина волн некоторых передатчиков достигла 20 тыс. и даже 30 тыс. м.

В 1902 году Оливер Хевисайд (Oliver Heaviside) (1850 – 1925), английский математик (племянник Ч.Уитстона) и Артур Эдвин Кеннелли (Arthur Edwin Kennelly) (1861 – 1939), американский инженер-электрик, независимо предсказали существование на высоте примерно 100 миль (185 км) слоя ионизированных газов (ионосферы), отражающего радиоволны. Было высказано предположение, что использование этого слоя позволяет увеличивать дальность распространения радиоволн на расстояния, превышающие прямую видимость. В честь первооткрывателей эту область атмосферы часто называют «слоем Кеннелли–Хевисайда». Более глубокие исследования этого важного феномена стали проводиться позже, после работ В. Икклза (1912 год).

Переход к незатухающим волнам привел к определенным изменениям и в радиоприемной технике. Чтобы выделить на выходе радиоприемника медленно передаваемый телеграфный сигнал с незатухающей несущей частотой (скорость передачи в то время была около 100 знаков в минуту), использовали специальные прерыватели (тиккеры). Тиккеры прерывали ток со звуковой частотой, и при приеме телеграфные незатухающие сигналы хорошо прослушивались

в телефонах радиоприемника в виде звукового тона.

Идея преобразования сигнала по частоте с целью выделения его приемником получила развитие в методе гетеродинного приема, предложенном Р. Фессенденом в 1905 году. Суть метода состояла в том, что незатухающие высокочастотные колебания принимаемого сигнала смешивались в приемнике с периодическим сигналом от специального генератора (гетеродина). Разностная частота биений лежала в звуковом диапазоне и могла быть услышана в телефонных наушниках. Создание гетеродинных приемников средствами доламповой техники было очень сложной задачей, и радиоприемники гетеродинного типа стали широко развиваться только после появления радиоламп.

Зарождение электронной лампы относится к периоду интенсивного развития дуговой и электромашинной радиотехники. В 1904 году английский ученый Джон Амброз Флеминг (John Ambrose Fleming) (1849 – 1945) использовал открытое Т. Эдисоном явление электрической эмиссии и создал двухэлектродную лампу - диод, который мог служить для детектирования токов высокой частоты. В первый период ламповый диод не мог конкурировать по чувствительности с другими видами детекторов, что и обусловило его малое распространение. Но через несколько лет совершенствования, ламповые устройства вытеснили другие типы детекторов.

Рис. 35. Диод Флеминга, 1906 год

15 января 1907 года американский инженер Ли де Форест (Lee de Forest) (1873 – 1961) получил патент США на «Устройство для усиления слабых электрических токов» («Device for Amplifying Feeble Electric Currents»). Форест назвал свое изобретение «аудион». В дальнейшем известна как трехэлектродная вакуумная электронная

Рис. 36. Аудион де Фореста, 1907 год

лампа – триод. Более чувствительный вариант прибора был запатентован 18 февраля 1908 года. Детектор на основе аудиона был намного более чувствителен, чем другие детекторы, но обладал низкой стабильностью.

Триод позволял получать усиление сигнала, т. е. управлять значительными токами в электрических цепях путем очень малых изменений потенциала на сетке. Созданный Форестом первый ламповый однокаскадный усилитель открыл новые возможности в радиотехнике. Однако совершенствование радиоламп и развитие усилительных систем шло вначале медленно, так как первые, во многом еще несовершенные лампы не могли конкурировать с уже имевшимися приборами и, в частности, с широко применявшимися для радиоприема кристаллическими детекторами, которые были проще в эксплуатации и не нуждались в электрических источниках питания. Положительные особенности электронных ламп и главным образом их способность многократно усиливать электрические токи и напряжения не сразу были оценены на практике.

Широкое внедрение ламп в радиотехнику началось в середине второго десятилетия. К этому времени немецкий инженер Александр Мейсснер (Alexander Meissner) (1883 – 1958) разработал в 1913 году ламповый генератор незатухающих электрических колебаний и построил первый ламповый радиопередатчик. Достоинства электронной лампы проявились в этом устройстве в значительной мере. Передатчик Мейсснера хотя и имел совсем небольшую мощность (около 10 Вт), однако позволял легко передавать не только телеграфные, но и телефонные сигналы. Для этого в цепь сетки генераторной лампы Мейсснер включал микрофон.

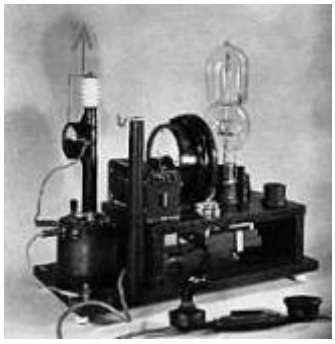


Рис. 37. Ламповый передатчик Мейсснера

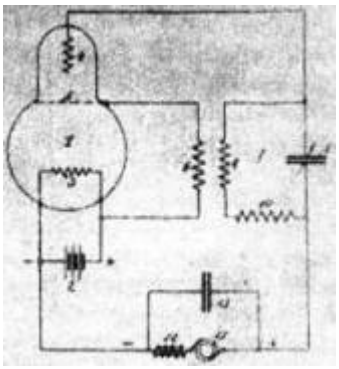


Рис. 38. Схема передатчика Мейсснера

Электронные лампы сначала были крайне недолговечны, но интенсивные работы в этой, а также во многих смежных областях, таких, как техника получения вакуума, технология металлов, стеклодувное дело и др., позволили быстро усовершенствовать новое радиотехническое средство. Вначале первой мировой войны электронная лампа стала решительно входить в радиоприемные устройства в качестве детектора (диод), а затем и усилителя радиочастот (триоды). Но в передатчиках она еще не могла конкурировать с мощными дуговыми и электромашинными радиогенераторами этого периода. В маломощных же радиопередатчиках, главным образом экспериментального назначения, радиолампы также начинают применять приблизительно с 1913 – 1916 годов. Через три десятилетия после изобретения радиоэлектронные лампы настолько широко вошли в радиотехнику и существенно изменили характер ее развития, что период их особенно интенсивного внедрения (20-е годы) впоследствии стали называть ламповой революцией в радиотехнике.

Подводя итог, можно сказать, что к началу Первой мировой войны радиотехника сформировалась в новую, вполне сложившуюся отрасль техники, главной целью которой в то время была передача информации на расстояние. Этот этап радиотехники характеризовался весьма интенсивным развитием и дал множество изобретений и усовершенствований. Во многих странах активно велись инженерные разработки, создавались лаборатории и радиотехнические предприятия, резко усилился приток в новую

область специалистов. Пополнение кадрами происходило сначала из рядов физиков и инженеров-электриков, однако во многих странах в этот период ведущие учебные технические заведения начинают готовить специалистов-радистов.

Первая мировая война заставила свернуть многие мирные разработки по радиотехнике, перевести радио на милитаристские рельсы. Интенсифицировались работы по применению радиосвязи в авиации, начались и другие прикладные работы, в частности по радиопеленгации. Для ее осуществления потребовалось освоение новых диапазонов радиоволн и создание средств направленного излучения и приема. Кроме того, война сузила радиотехническую информацию, ограничила развитие радиотехники ряда стран национальными рамками.

И только окончание войны позволило использовать огромные людские и материальные ресурсы, занятые в армии и флоте, для мирных целей. Большой контингент военных радиоспециалистов нашел применение в развитии гражданской радиосвязи, а несколько позже (в 20-х годах) в радиовещании и в производстве бытовой радиоаппаратуры для этого. Не случайно, поэтому именно в первые послевоенные годы зародилось и стало бурно развиваться во всех странах радиолюбительство – общественное движение, связанное с радиотехническим творчеством широкого круга людей, которые в свободное время изучали радиотехнику и строили разнообразные радиоприборы. Трудно переоценить историческое значение радио-любительства. Характерная особенность этого оригинального технико-социального явления состояла не только в быстром распространении радиотехнических знаний, но и в том, что оно дало мировому техническому прогрессу множество новшеств, изобретений и научных идей во всех сферах радио.

8. РАЗВИТИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

После создания вакуумного диода и триода электронные, лампы стали широко применяться в генераторах и передатчиках, усилителях и выпрямителях, радиоприемниках и, наконец, в электронных

вычислительных машинах. Появились стабилитроны, газотроны, клистроны, магнетроны, амплитроны и многие другие лампы, сложные не только по названию, но и по конструкции. И это закономерно, так как жизнь требовала новых электронных устройств, состоящих из большого числа элементов и решающих самые разнообразные задачи. Усилители на электронных лампах опускались на дно океанов вместе с трансатлантическими телефонными кабелями и взлетали в небо с самолетными радиостанциями.

В августе 1918 года создана Нижегородская радиолаборатория (НРЛ) – первый российский научно-исследовательский центр в области радиотехники. Первым управляющим НРЛ был В.М. Лещинский, ведущими учеными и организаторами – М.А. Бонч-Бруевич, В.К. Лебединский, П.А. Остряков, В.В. Татаринов, В.П. Вологдин, А.Ф. Шорин. В марте 1919 годп НРЛ начала производство приемно-усилительных радиоламп. Осенью 1920 года специалисты НРЛ установили на Ходынской радиостанции в Москве радиотелефонный передатчик мощностью 5 кВт, а в 1922 году – 12 кВт (радиостанция была переименована в «Центральную радиотелефонную станцию им. Коминтерна»). В НРЛ были созданы генераторные радиолампы мощностью до 300 Вт (1923 год), а также генераторные радиолампы с водяным охлаждением анода мощностью 25 кВт (1923 год) и 100 кВт (1925–1926 года). В 1926 году был построен 40-киловаттный передатчик московской радиостанции на Шаболовке («Новый Коминтерн»). Для областного радиовещания НРЛ создала дешевый универсальный передатчик мощностью 1,2 кВт. К 1928 году такие передатчики были установлены на радиостанциях в 25 городах СССР. В 1924–1927 годах НРЛ была осуществлена (с применением направленного излучения) межконтинентальная радиосвязь и связь с Америкой на КВ, а также налажена круглосуточная связь на линии Москва – Ташкент.

В 1927 году американская фирма Bell Telephone продемонстрировала первую промышленную телевизионную установку, собранную на электронных лампах. Казалось, что электронные лампы на многие годы обеспечат прогресс только что зародившейся, но уже необходимой людям десятков специальностей

науки радиоэлектроники.

Тем не менее вакуумным лампам были присущи серьезные недостатки: они занимали много места, потребляли огромное количество энергии, выделяли много тепла и быстро выгорали. Например, в одной из первых американских электронных вычислительных машин было 18 000 ламп. Они выделяли столько тепла, что, несмотря на множество вентиляторов, установленных в машинном зале, температура в нем поднималась до 50° С. В самой простейшей отечественной машине "Урал" насчитывалось около 1000 ламп (меньше, чем элементов в современных электронных часах), каждая из которых выходила из строя примерно через 50 часов. В больших машинах типа БЭСМ насчитывалось уже 5-6 тысяч ламп и предполагалось их число довести до 10 тысяч, а это означало бы сокращение времени безотказной работы ЭВМ до 5 часов. При этом потребовалось бы время и, для того, чтобы найти перегоревшею лампу среди 10 тысяч ей подобных. К тому же лампы наделили первые компьютеры "болезнью", которую вполне можно было назвать технологической медлительностью. Кроме того, лампа оказывалась не в состоянии справиться с усложняющимися задачами. Устройствам на электронных лампах нужны минуты для того, чтобы прогреться и прийти в рабочее состояние. Между тем, эти минуты могут решить судьбу самолета, с которым нельзя установить связь, или военного корабля, у которого не работает радиолокатор или автомат управления стрельбой.

Необходимость создания нового элемента с принципиально неограниченным сроком службы, не требующим прогрева, не боящимся механических воздействий, экономичного, легкого, дешевого ощущалась все острее.

К концу 40-х годов, когда вступили и действие первые большие электронные компьютеры, специалисты по технике связи начали искать замену громоздким и хрупким лампам, служившим усилителями. В центре внимания оказались кристаллические минералы под названием "полупроводники".

На рубеже XIX-XX веков один из таких минералов, галенид (или сульфид свинца) играл ключевую роль в радиоприемниках.

Контакт между кристаллом галенида и тончайшей металлической проволочкой действовал как выпрямитель обеспечивая прием радиосигналов. Еще в 1906 году его предложил Гринлиф Виттер Пикард (Greenleaf Whittier Pickard) (1877–1956). Он писал «Контакт между тонким металлическим проводником и поверхностью некоторых кристаллических материалов (кремний, галенит, пирит и пр.) выпрямляет и демодулирует высокочастотный переменный ток, возникающий в антенне при приеме радиоволн». В дальнейшем детектор получил прозвище «catwhisker» – «кошачий усик» из-за тонкого проводника, с помощью которого осуществлялся контакт с поверхностью кристалла. Было сделано множество приспособлений и конструкций, чтобы облегчить поиск наиболее чувствительной точки на кристалле. Лучшие из подобных кристаллических детекторов были практически эквивалентны по чувствительности более ранним жидкостным детекторам, но из-за большей технологичности и неприхотливости практически полностью вытеснили последние.

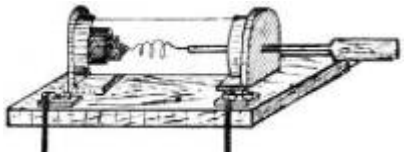


Рис. 39. Детектор «Catwhisker»

В 1906 и 1914 годах выходят работы немецкого электрохимика И. Кенигсбергера, в которых, обобщив результаты сотен работ, проделанных исследователями разных стран, ученый ввел понятие "класса полупроводников" и укачал их основные отличительные признаки.

В начале 20-х годов советский радиофизик О. В. Лосев (1903 – 1942) сконструировал кристаллические полупроводниковые детекторы, показал возможность усиления и генерирования колебаний с помощью таких детекторов. Журнал "Radio", издававшийся в Берлине, в №12 за 1925 год писал: "Представлено несколько 25-киловаттных генераторных ламп, построенных профессором Бонч-Бруевичем в Радноинституте в Нижнем Новгороде, и много генераторных и усилительных ламп, показывающих развитие высокой техники радиоиндустрии в России по сравнению с остальными европейскими странами. Картина эта дополняется еще некоторыми конструкциями приемников

профессора Лосева".

В то время "профессору Лосеву", создателю прославленного кристадина – детекторного приемника с кристаллом цинкита, было 22 года. Он был студентом-заочником и скромным сотрудником Нижегородской радполаборагорни возглавляемой ученым с мировым именем – М. А. Бонч-Бруевичем. Олегу Лосеву повезло: прирожденный исследователь, он имел прекрасных учителей. "Самоучка", не имевший даже вузовского диплома, очень рано сложился как оригинальный ученый, восемнадцати лет от роду он сделал первое свое открытие, давшее право впоследствии назвать его "пионером полупроводниковой техники". К двадцати пяти он имел десяток патентов.

К сожалению, имя О. В. Лосева не получило той известности, которой оно заслуживает. Его кристадин, после бурного взлета популярности в 20-х годах, стал достоянием музеев, а открытое им тогда явление катодной люминесценции – "свечение Лосева" нашло применение в светодиодах через много лет после его смерти, и развитие этого направления связывалось уже с другими именами. Умер ученый в 1942 году от истощения в блокадном Ленинграде, где до последних дней продолжат научную работу, преподавал в медицинском институте и отдавал свою кровь, пока совсем не иссякли силы.

Основы физики полупроводников закладывались в 20-30-е годы XX века трудами отечественных и зарубежных ученых: А.Ф. Иоффе, Я.И. Френкеля. Б.И. Давыдова, А. Вильсона, В. Шоттки, М. Моотта и многих других.

А.Ф. Иоффе (1880 – 1960) родился в г. Ромны Полтавской губернии. После окончания Петербургского технологического института специализировался в Мюнхене у великого В. К. Рентгена в экспериментальной физике. Там ученый удостоился "высших похвал" и предложения места профессора, однако А.Ф. Иоффе вернулся на родину.

С 1916 года его усилиями в Петрограде организуется знаменитый впоследствии семинар, который посещали будущие лауреаты Нобелевской премии П.Л. Капица, Н.Н. Семенов, а также

многие, впоследствии ставшие известными, наши физики.

По инициативе А.Ф. Иоффе организуется Физико-технический институт, знаменитый "Физтех", который воспитал десятки ученых. Усилиями ученых физтеха аналогичные институты впоследствии были организованы в других городах страны. В 1920 году А.Ф. Иоффе избирается академиком. Монография, посвященная полупроводникам, вышла в 1933 году. Но вклад его в другие разделы современной физики значителен. Он был дружен с великими учеными: Эйнштейном, Бором, Лоренцем. О встречах с ними он написал очень интересную книгу "Встречи с физиками". А.Ф. Иоффе был вице-президентом АН СССР, удостоен Ленинской и Государственной премий, звания Героя Социалистического труда и трех орденов Ленина.

Я.И. Френкель (1894 – 1952) родился в Ростове-на-Дону. В шестнадцать лет написал работу "Электродинамика Солнечной системы", показал ее А.Ф. Иоффе и получил приглашение сначала работать в семинаре по новой (квантовой) физике, а затем в самом физтехе. Круг интересов Я.И. Френкеля был необычайно широк: физика твердого тела, физика жидкостей, физика атомного ядра, астрофизика, био- и геофизика. Труды Я.И. Френкеля переведены на многие языки. Ученый был и художественно одаренной натурой - профессионально рисовал, прекрасно играл на скрипке.

Между тем потребность в знаниях о полупроводниках с течением времени становилась все более настоятельной. В конце 30-х годов появилась радиолокация и оказалось, что германиевые и кремниевые точечные детекторы способны преобразовывать сигналы сверхвысоких частот, с которыми лампы того, времени справиться не могли. Однако пока во время войны не начались интенсивные исследования, связанные с радиолокационной техникой, никто не понимал, что благодаря своим свойствам полупроводники могут служить надежными и эффективными переключателями и усилителями. В военный период исследователи разработали новые методы внесения примесей в кристаллы германия и кремния, что позволило создать полупроводниковые материалы с желаемыми электрическими свойствами (n-тип, p-тип).

Ученые "Bell telephone laboratories" (научно-исследовательской фирмы, входящей в компанию "American Telephone and Telegraphe" АТТ), как и других научных центров, принимавших участие в разработках военного времени, остро нуждались в новых приборах, способных заменить радиоволны и электромеханические реле в усилителях и переключателях в системах телефонной связи. Летом 1945 года, незадолго до конца войны фирма, мобилизовав свои огромные ресурсы, повела мощное наступление в области физики твердого тела. Ключевыми фигурами в группе физиков были Уолтер Хаузер Брэттен (Walter Houser Brattain) (1902 – 1987), экспериментатор, имевший 16-летний стаж работы в фирме, и Джон Бадин (John Bardeen) (1908 – 1991), молодой талантливый теоретик, лишь недавно пришедший в фирму. Руководителем и признанным лидером группы был 35-летний Вильям Брэдфорд Шокли (William Bradford Shockley) (1910 – 1989), сын горного инженера, Шокли родился в Лондоне, но вырос в Калифорнии, Несмотря на некоторую склонность к богеме, в работе он был предельно серьезен и «результативен».

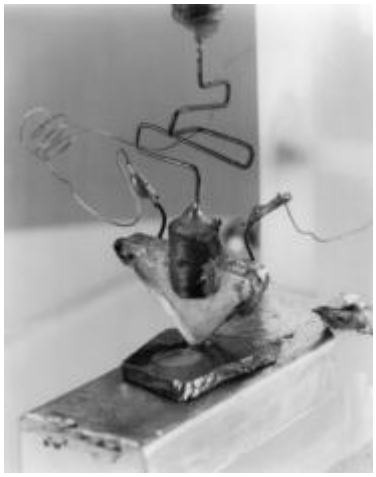


Рис. 40. Первый точечный германиевый p-n-p транзистор Брэттена и Бадина с коэффициентом усиления 18

После почти трехлетних исследований, потребовавших около миллиона долларов, 23 декабря 1947 года Д. Бардин, У. Шокли, У. Брэттен получили полупроводниковый усилитель. В 1948 году фирма "Bell Telephone" впервые публично продемонстрировала твердотельный усилитель – точечный транзистор.

Названные ученые были удостоены в 1956 году Нобелевской премии по физике за открытие транзисторного эффекта. Первый транзистор повторял по внешнему виду электронную лампу. Так, конструкции автомобилей в течение первых 15-20 лет повторяли по форме кареты и дилижансы.

Но транзисторы уже через два года начали выпускаться в специальных корпусах, ничем не напоминающих вакуумные лампы.

В 1951 году У. Шокли продемонстрировал миру первый надежный транзистор, представлявший собой трехслойный германиевый "сэндвич" толщиной около 1 см, заключенный в металлический корпус. Это была модель n-p-n, впоследствии наиболее распространенная. Плоскостная модель Шокли в конце концов восторжествовала над точечной моделью.

В сентябре американская компания «Bell Labs» провела симпозиум, на котором были изложены возможности и перспективы применения транзисторов. На симпозиум прибыло около 300 ученых и инженеров. По окончанию симпозиума посетители разъехались по домам с пониманием того, что мог делать транзистор, но без малейшего понимания того, как его изготовить. Для этих знаний желающие должны были заплатить за лицензию компании «Bell Labs» $25 000. Двадцать шесть компаний из США и зарубежья подписали договора на предоставления лицензий. Среди них были как крупные компании типа «IBM» и «General Electric», так и малоизвестные, типа «Texas Instruments». Более ста представителей от каждого покупателя лицензии были приглашены на симпозиум по транзисторным технологиям в апреле 1952 году. Восемь дней специалисты «Bell Labs» работали с посетителями с утра до вечера. В конце концов гости разъехались готовыми к самостоятельному производству транзисторов. Все материалы симпозиума были собраны в двухтомнике «Транзисторная технология». Книга получила ласкательное прозвище – «Поваренная книга матери Белла» («Mother Bell's Cookbook»).

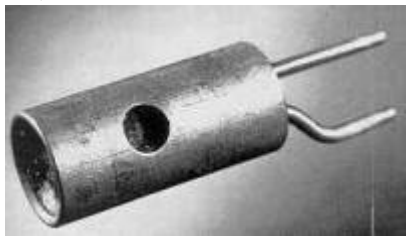


Рис. 41. Первый точечно-контактный транзистор, выпускаемый для коммерческого использования «Код 1» («Bell Labs»)

Выполняя те же функции, что и электронная лампа транзистор имел значительно меньшие размеры, у него не было хрупкого стеклянного корпуса и тонкой нити накаливание он не перегревался и потреблял гораздо меньше электроэнергии, Но транзистор не сразу завоевал достойное место. Из-за трудностей в производстве цена прибора оставалась высокой: до 8 долларов за штуку, при цене на лампу – 75 центов.

В СССР первые транзисторы были разработаны в 1953 году под руководством А.В. Красилова.

Однако в середине 50-х годов стоимость транзисторов резко снизилась. В 1954 году Гордон Теал (Gordon K. Teal) (1907), инженер американской компании «Texas Instruments», продемонстрировал вице-президенту «TI» Пэту Хаггерти (Pat Haggerty) действующий образец кремниевого транзистора. Через четыре недели Теал заявил коллегам, что технология производства кремниевых транзисторов «у него в кармане». 10 мая компания «TI» объявила о начале производства транзисторов и сразу же заняла лидирующее положение на рынке полупроводников. Производство возглавил Марк Шеферд (Mark Shepherd). Доктор Гордон Теал возглавил отдел развития полупроводников компании «TI». Кремниевые транзисторы обеспечивали большую выходную мощность, выделяли меньше тепла и работали при температуре до 150 град. Кремний, основной компонент обычного песка, самый распространенный после кислорода элемент на Земле. В дальнейшем кремний практически повсеместно вытеснил другие полупроводниковые материалы.

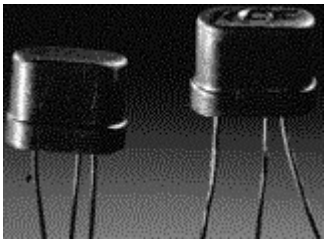


Рис. 42. Первые кремниевые транзисторы компании «Texas Instruments»

Усовершенствование технологии производства транзисторов еще больше снизило их стоимость. Были разработаны, например,

методы выращивания больших кристаллов. Кристаллы кремния "растут" подобно твердым кристаллам сахара, которые образуются на ниточках, опущенных в насыщенный сахарный раствор. При новом, диффузионном, методе примеси стали вводить в кристалл путем напыления. Это настолько тонкий метод, что его можно сравнить с добавлением крупинки соли к 38 железнодорожным вагонам, сахара.

Снижение стоимости транзистора способствовало ускорению процесса миниатюризации в электронике. Эту тенденцию всячески поощряли военные, заинтересованные в аппаратуре для ракет и других видов вооружения, а также разработчики космических программ. Стали использовать транзисторы величиной с булавочную головку. Создали резисторы и конденсаторы, меньшие по объему в 50-75 раз, проводники толщиной с человеческий волос, что позволило перейти на плотные и компактные методы монтажа этих элементов. Так, если первая самолетная ЭВМ имела массу более 200 кг, и потребляемую мощность 3 кВт, то ЭВМ, в которой часть ламп была заменена на диоды, имела соответственно 100 кг и 1 кВт, а ЭВМ на транзисторах - 50 кг и 0,42 кВт.

Однако этот второй период развития электроники продлился недолго. Как и электронные лампы, транзисторы, изготовленные существовавшими тогда методами, приходилось при сборке схем вручную соединять и припаивать. Работа была трудоемкой, а схемы занимали значительное место. Кроме того, все компоненты схемы образовали хаотическое нагромождение, подверженное загрязнению и механическим повреждениям, что снижало надежность устройств, их экономичность.

Еще в 1952 году Г.У. Даммер, английский специалист в области радиолокации, выдвинул смелое предложение размещать все транзисторы, резисторы и другие компоненты в сплошном блоке полупроводникового материала. Однако свою идею он реализовать не мог.

Третий период развития электроники начался в 1957 году, когда была предложена планарная технология. Под планарной технологией понимают совокупность операций, позволяющих создавать в полупроводниковой пластине набор p-n-переходов, границы которого

выходят на одну и ту же плоскую поверхность. Такое расположение значительно упрощает их формирование, соединение в соответствии с заданной электрической схемой и защиту от внешних воздействий. В сочетании с пленочной технологией планарная технология позволила перейти к изготовлению принципиально новых электронных изделий – интегральных микросхем, составляющих основу современной электроники.

Опыт создания первой в мире интегральной схемы принадлежит Джэку Килби (Jack St. Clair Kilby) (родился в 1923 году), инженеру фирмы "Texas Instruments". 12 сентября 1958 года в США он представил первый рабочий образец интегральной схемы (микросхемы). Интегральная схема представляла собой тонкую германиевую пластинку длиной 1 см. Пять компонентов схемы были изолированны друг от друга благодаря своей форме в виде букв U, I и т. д.

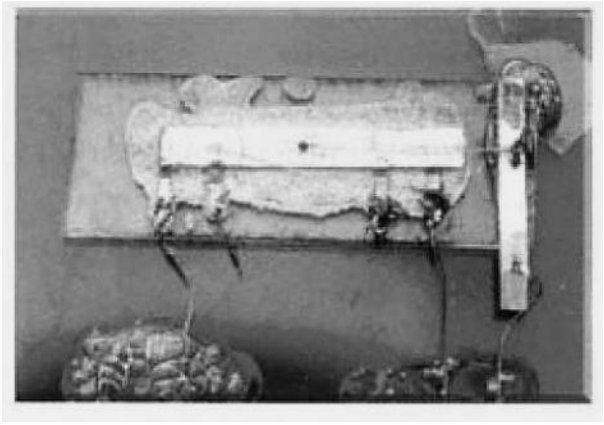


Рис. 43. Первая микросхема Дж. Килби

Крошечные проволочки, соединявшие компоненты схемы друг с другом и с источником питания, просто припаивались. Вся конструкция скреплялась воском. Тем не менее схема работала.

Фирма сообщила о рождении нового устройства в январе 1959 года и построила для ВВС США компьютер из 587 ИС, объем которого уменьшился в 150 раз по сравнению с аналогичным компьютером старого образца. Килби получил патент, но его ИС быстро вытеснила другая модель, технология изготовления которой оказалась проще.

Путь для изготовления ИС планарной технологией увидел также в 1959 году Р. Нойс, американец, сын священника из небольшого городка в штате Айова. Он был директором и научным руководителем компании 'Fairchild Semiconductors", которую создали бывшие сотрудники У. Шокли "Я ленив, говорил Нойс впоследствии.

– Интегральную схему я придумал потому, что видел, как люди трудились в поте лица, припаивая проволочки к этим штукам, и мне показалось, что это ужасное расточительство". Его модель 1959 года обладила рядом важных преимуществ по сравнению со схемой Килби, и даже фирма, где работал Килби, приняла ее на вооружение. В 1962 году обе фирмы начали массовое производство ИС, вскоре прозваны "чипами".

Количество отдельных компонентов на одном чипе возрастало с головокружительной быстротой, примерно удваиваясь каждый год. Например, в 1964 году на кристалле размером 7 $см^2$ умещалось 10 транзисторов и других компонентов, а к 1970 году в кристалле того же размера содержалось уже не менее 100 элементов.

ИС значительно сократили габариты изделий, устранили необходимость трудоемкого процесса пайки соединений между компонентами, повысили надежность устройств и их быстродействие. Электрическим импульсам, распространяющимся от одного переключателя к другому со скоростью, приблизительно равной половине скорости света, теперь приходилось преодолевать расстояние всего лишь в сотые доли сантиметра.

Показателем сложности ИС является степень интеграции, т. е. число элементов и компонентов в ней. В большой интегральной схеме (БИС) число их может достигать 10000, в сверхбольшой ИС (СБИС) – более 10000. Процесс столь поразительной миниатюризации электронных компонентов пока продолжается. По мнению специалистов, прежде чем будут исчерпаны все возможности в микроэлектронике, плотность интеграции будет порядка 10 миллионов компонентов на кристалле размером с ноготь.

Однако уже в 80-е годы ученые начали сталкиваться с проблемами, свидетельствующими, что миниатюризация не беспредельна. Одна из проблем, это всевозрастающая сложность проектирования микросхемы. Несмотря на помощь компьютеров, для составления карты микропроцессора требуется год-полтора работы большой группы специалистов. И по мере того как размеры транзистора постоянно уменьшаются, приближаясь чуть ли не к

длине световой полны, гравировка поверхности кристаллов даже при самых современных методах, например с использованием лазеров, наталкивается на все большие трудности.

Самые крошечные транзисторы, иногда по размерам меньше бактерий, потребляют так мало энергии, что становятся уязвимыми для случайных микроскопических воздействий, например воздействий космических лучей или разрушения материалов при колебаниях температуры.

Чтобы обойти эти трудности, исследователи стали использовать новые принципы построения электронных устройств. Так возникла функциональная микроэлектроника – четвертый период развития электроники. Она основана не на стандартных базовых элементах (диодах, резисторах, конденсаторах и др.), а на применении физических явлений в объеме или на поверхности твердых тел. В таких изделиях применяются не только полупроводники, но и сверхпроводники, материалы с фотопроводящими и магнитными свойствами. Помимо электропроводности используют ультразвуковые колебания, оптические и магнитные явления в диэлектриках.

Заглядывая в будущее, исследователи предполагают, в частности, что новые керамические материалы дадут жизнь оптическим компьютерам, где вместо электронов будут "работать" фотоны Другие ученые мечтают о том, что средствами генной инженерии удастся вырастить "биочип" – комок органического материала, состоящий из миллиарда "транзисторов, каждый из которых будет представлять собой одну единственную белковую молекулу.

Большое значение для развития электроники имело создание квантовых усилителей и генераторов. В основе принципа действия этих приборов лежит особый тип взаимодействия – излучения с веществом, открытый Эйнштейном в 1917 году – вынужденное излучение.

Чрезвычайно важным свойством квантовых усилителей и генераторов является почти полное отсутствие угловой расходимости потока фотонов, выходящих из прибора. Поэтому интенсивность

потока (количество энергии, проходящей в секунду через единичную площадку, ориентированную перпендикулярно лучу) почти не изменяется с пройденным расстоянием. Это связано с идентичностью фотонов, стимулирующих акт вынужденного излучения, и фотонов, родившихся в результате этого акта.

Квантовые усилители и генераторы, особенно квантовый генератор оптического диапазона волн – “лазер”, получили широкое практическое распространение в технике (в обработке металлов, в частности их сварке, резке, сверлении), в медицине (в хирургии, офтальмологии - области медицины, назначением которой является излечение глазных болезней), в различных научных исследованиях. Перечисленное применение лазеров является, несомненно, только началом. Известные советские ученые, лауреаты Нобелевской премии Н. Г. Басов и А. М. Прохоров являются одними из основоположников теории и создания квантовых генераторов.

Создание квантовых генераторов стало началом развития нового направления электроники – квантовой электроники – науки, которая занимается теорией и техникой различных устройств, действие которых основано на вынужденном излучении и на нелинейном взаимодействии излучения с веществом. К таким устройствам, кроме квантовых генераторов (в том числе лазеров), относятся усилители и преобразователи частоты электромагнитного излучения, а также квантовые усилители СВЧ (сверхвысокой частоты), квантовые магнитометры и стандарты частоты, лазерные гироскопы (лазерные приборы, свойство которых – неизменное сохранение оси вращения в пространстве позволяет использовать их для управления самолетами, ракетами, морскими судами и т. д.

Электронные приборы и устройства нашли широкое применение, стали незаменимыми в аппаратуре связи, автоматике, измерительной технике, электронных вычислительных машинах и во многих других очень важных случаях.

Радиоэлектроника, широко вошедшая в производственные машины и оборудование, в науку, быт людей, является одним из самых главных направлений технического прогресса, научным средством повышения производительности труда.

9. ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ И ИХ ТИПЫ

Появление печатных плат (ПП) в их современном виде совпадает с началом использования полупроводниковых приборов в качестве элементной базы электроники. Переход на печатный монтаж даже на уровне одно- и двухсторонние плат стал в свое время важнейшим этапом в развитии конструирования и технологии электронной аппаратуры.

Разработка очередных поколений элементной базы (интегральная, затем функциональная микроэлектроника), ужесточение требований к электронным устройствам, потребовали развития техники печатного монтажа и привели к созданию многослойных печатных плат (МПП), появлению гибких, рельефных печатных плат.

Многообразие сфер применения электроники обусловило совместное существование различных типов печатных плат:

1. ***ОПП*** – односторонняя печатная плата. Элементы располагаются с одной стороны платы. Характеризуется высокой точностью выполняемого рисунка;

2. ***ДПП*** – двухсторонняя печатная плата. Рис. располагается с двух сторон, элементы с одной стороны. ДПП на металлическом основании используются в мощных устройствах;

3. ***МПП*** – многослойная печатная плата. Плата состоит из чередующихся изоляционных слоев с проводящим рисунком. Между слоями могут быть или отсутствовать межслойные соединения;

4. ***ГПП*** – гибкая печатная плата. Имеет гибкое основание;

5. ***РПП*** – рельефная печатная плата.

9.1. Односторонние печатные платы

Односторонние платы по-прежнему составляют значительную долю выпускаемых в мире печатных плат. В предыдущем десятилетии в США они составляли около 70% объема выпуска плат в количественном исчислении, однако, лишь около 10 % в стоимостном. В Великобритании такие платы составляют около четверти от объема всего производства. Маршрут изготовления

односторонних плат традиционно включает сверление, фотолитографию, травление медной фольги, защиту поверхности и подготовку к пайке, разделение заготовок. Стоимость односторонних плат составляет 0,1 - 0,2 от стоимости двухсторонних плат, это делает их вполне конкурентными, особенно в сфере бытовой электроники.

Отметим, однако, что для современных электронных устройств, даже бытового назначения, односторонние платы часто требуют контурного фрезерования, нанесения защитных маскирующих покрытий, их сборка ведется с посадкой кристаллов непосредственно на плату или поверхностным монтажом.

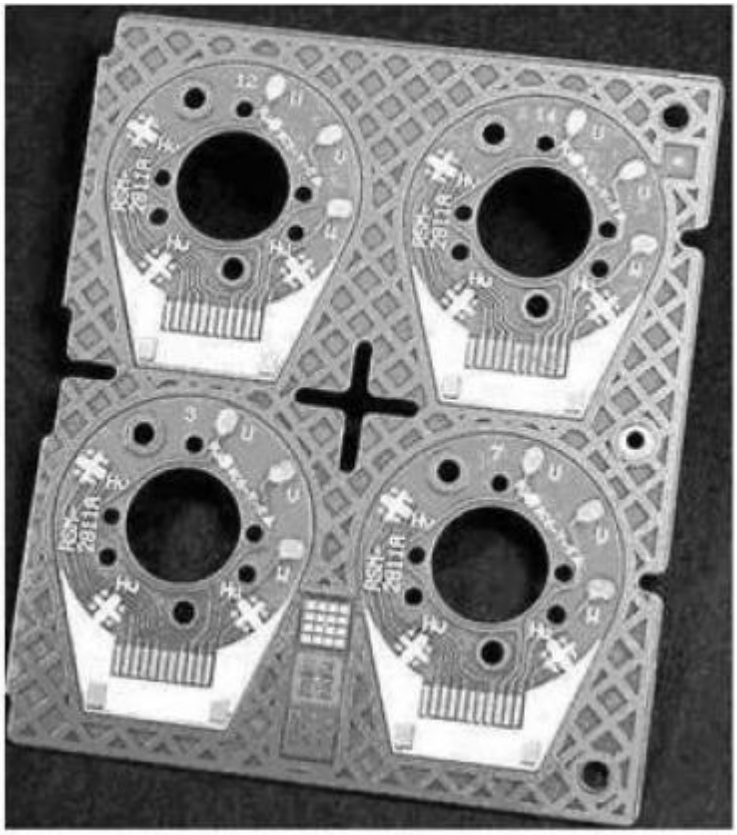


Рис. 44. Пример односторонней печатной платы

Типовые параметры плат:

- Макс, размеры заготовки - 400 мм х 330 мм ;
- Минимальный диаметр отверстия - 0,6 мм;
- Минимальная ширина проводника - 0,15 мм;
- Минимальный зазор - 0,15 мм;
- Толщина фольги - 36 мкм;
- Толщина платы - 0,4 -1,6 мм.

Альтернативой фотохимическому способу изготовления односторонних плат является фрезерование проводящего слоя в медной фольге на двухкоординатных фрезерных станках с ЧПУ. Этот метод наиболее эффективен при изготовлении прототипов плат, он позволяет разработчику получить опытный образец за 1,5 - 2 часа в условиях конструкторского бюро.

9.2. Двухсторонние печатные платы

Двухсторонние платы составляют в настоящее время значительную долю объема выпуска плат, например, в Великобритании до 47 %, в российском производстве до 65 - 75%. Столь значительное внимание разработчиков к этому виду плат объясняется своеобразным компромиссом между их относительно малой стоимостью и достаточно высокими возможностями. Технологический процесс изготовления двухсторонних плат, также как односторонних, является частью более общего процесса изготовления многослойных ПП. Однако для двухсторонних плат не требуется применять прессования слоев, значительно проще выполняется очистка отверстий после сверления.

Вместе с тем, для большинства двухсторонних плат за рубежом проектные нормы "проводник / зазор" составляют 0,25 / 0,25 мм (40% от объема выпуска), 0,2/0,2 мм (18%) и 0,15/0,15 мм (18%). Это позволяет использовать такие платы для изготовления широкого круга современных изделий, они вполне пригодны как для монтажа в отверстия, так и для поверхностного монтажа.

Типовые параметры двухсторонних плат:

- Максимальные размеры заготовки - 300x250...500x500 мм;
- Минимальный диаметр отверстия - 0.4...0,6 мм;
- Минимальная ширина проводника - 0,15 мм;
- Минимальный зазор - 0,15 мм;
- Толщина фольги - 18..36 мкм;
- Толщина платы - 0,4 - 2,0 мм.

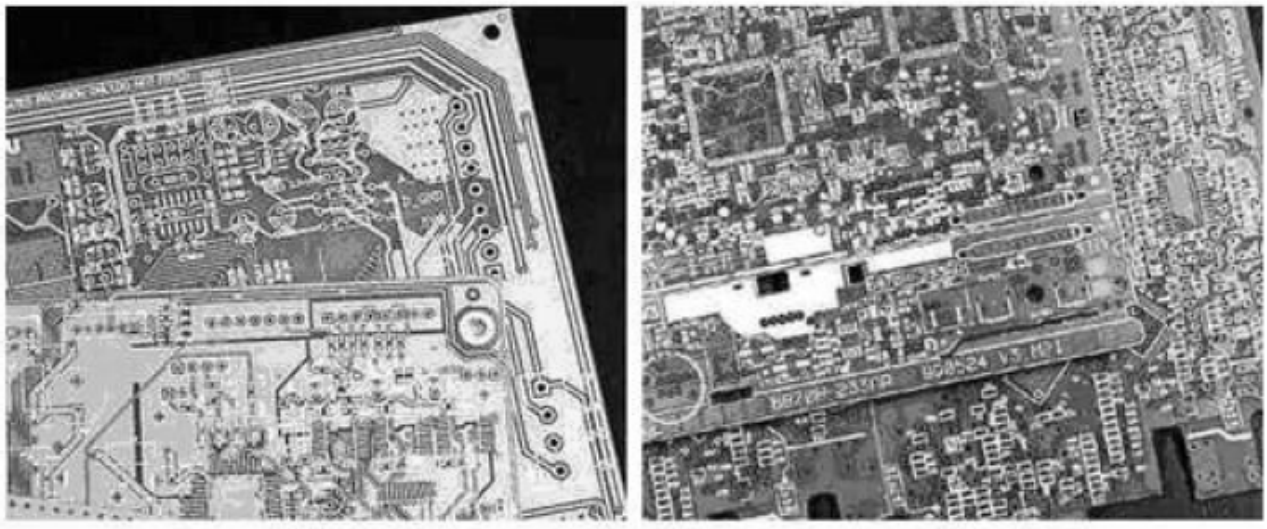


Рис. 45. Пример двухсторонней печатной платы

Отечественные разработчики, точно также как их зарубежные коллеги, закладывают в технические задания на изготовление двухсторонних плат нанесение паяльной маски, маркировку, весьма часто - фрезерование плат по сложному контуру. Как правило, сборка таких плат предусматривает поверхностный монтаж компонентов.

9.3. Многослойные печатные платы

Многослойные печатные платы (МПП) составляют две трети мирового производства печатных плат в ценовом исчислении, хотя в количественном выражении уступают одно- и двухсторонним платам.

По своей структуре МПП значительно сложнее двухсторонних плат. Они включают дополнительные экранные слои (земля и питание), а также несколько сигнальных слоев. Для обеспечения коммутации между слоями МПП применяются межслойные переходы (vias) и микропереходы (microvias). Межслойные переходы могут выполняться в виде сквозных отверстий, соединяющих внешние слои между собой и с внутренними слоями, применяются также глухие и скрытые переходы. Глухой переход - это соединительный металлизированный канал, видимый только с верхней или нижней стороны платы. Скрытые же переходы используются для соединения между собой внутренних слоев платы. Их применение позволяет значительно упростить разводку плат, например, 12-слойную конструкцию МПП можно свести к

эквивалентной 8-слойной. коммутации.

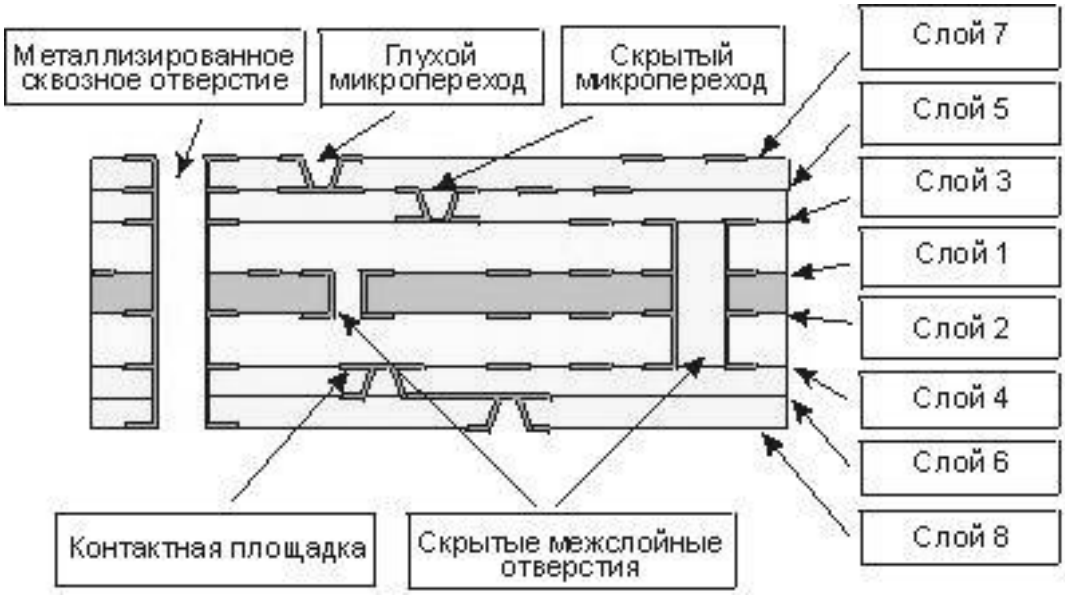


Рис. 46. Структура многослойной печатной платы

Для изготовления МПП производится соединение нескольких ламинированных фольгой диэлектриков между собой, для чего используются склеивающие прокладки – препреги. Поэтому толщина МПП растет непропорционально быстро с ростом числа сигнальных слоев.

В связи с этим необходимо учитывать большое соотношение толщины платы к диаметру сквозных отверстий. Например, для МПП с диаметром отверстий 0,4 мм и толщиной 4 мм это соотношение равно 10:1, что является весьма жестким параметром для процесса сквозной металлизации отверстий.

Тем не менее, даже учитывая трудности с металлизацией узких сквозных отверстий, изготовители МПП предпочитают достигать высокой плотности монтажа за счет большего числа относительно дешевых слоев, нежели меньшим числом высокоплотных но, соответственно, более дорогих слоев.

В современных МПП широко применяется поверхностный монтаж всех видов современных интегральных схем, включая, как это показано на рисунке, бескорпусных схем, заливаемых компаундом после разварки выводов.

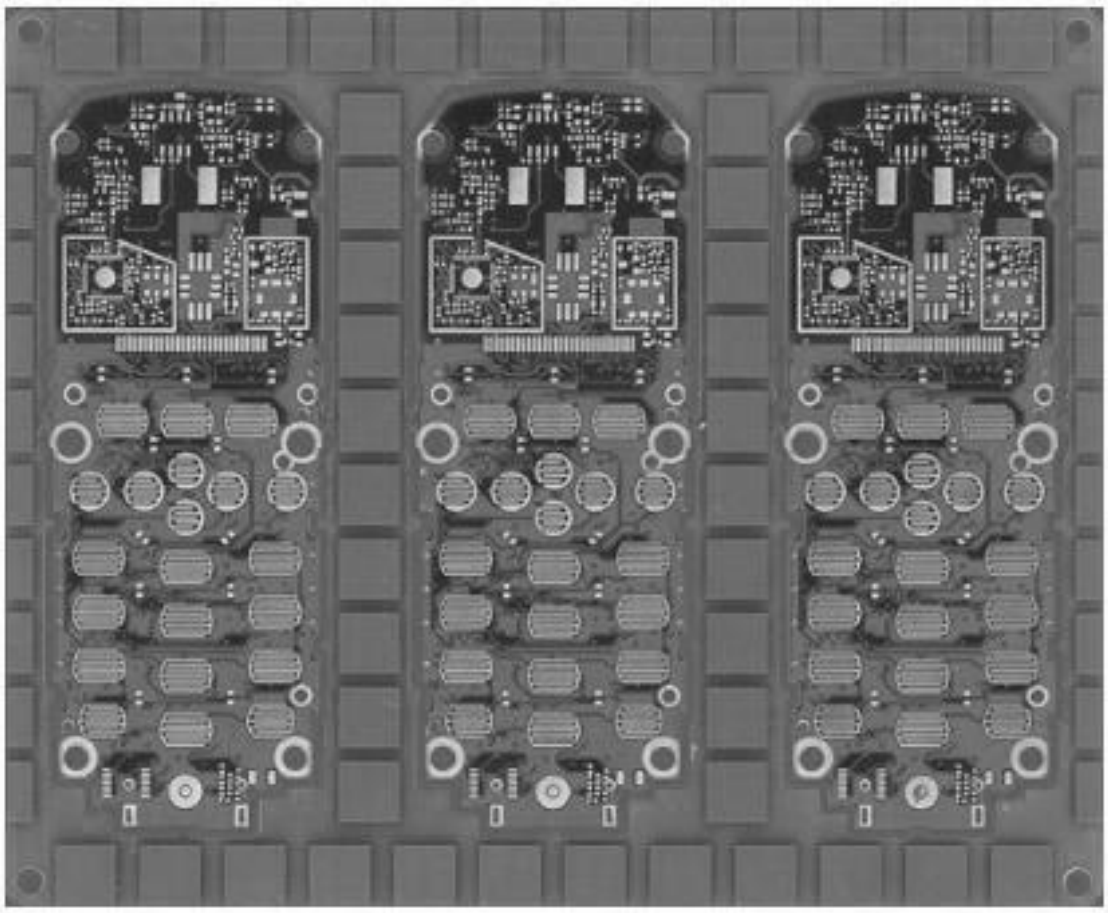


Рис. 47. Шестислойная печатная плата – мультиплата (три платы на одной заготовке) со сложными внутренними вырезами

9.4. Гибкие печатные платы

Использование гибких диэлектрических материалов для изготовления печатных плат дает как разработчику, так и пользователю электронных устройств ряд уникальных возможностей. Это, прежде всего - уменьшение размеров и веса конструкции, повышение эффективности сборки, повышение электрических характеристик, теплоотдачи и в целом надежности.

Если учесть основное свойство таких плат – динамическую гибкость, то становится понятным все возрастающий объем применения таких плат в автомобилях, бытовой технике, медицине, в оборонной и аэрокосмической технике, компьютерах, в системах промышленного контроля и бортовых системах.

Гибкие печатные платы (ГПП) изготавливаются на полиимидной или лавсановой пленке и поэтому могут легко

деформироваться даже после формирования проводящего рисунка. Большая часть конструкций гибких ПП аналогична конструкциям печатных плат на жесткой основе.

Односторонние ГПП наиболее распространены в этом классе плат, поскольку проявляют наилучшую динамическую гибкость. Контактные площадки таких плат расположены с одной стороны, в качестве материала проводящей фольги чаще всего используется медь.

Односторонние ГПП с двухсторонним доступом имеют один проводящий слой, контактные площадки к которому выполнены с обеих сторон платы.

Двухсторонние ГПП имеют два проводящих слоя, которые могут быть соединены сквозными металлизированными переходами. Платы этого типа обеспечивают высокую плотность монтажа, часто применяются в электронных устройствах с контролируемым полным сопротивлением (импедансом) плат.

Многослойные ГПП содержат не менее трех проводящих слоев, соединенных металлизированными отверстиями, которые обеспечивают межслойное соединение. В таких платах проще реализовывать высокую плотность монтажа, поскольку не требуется обеспечивать большие значения соотношений «высота/диаметр отверстия». Прогнозируется применение таких ГПП для сборки на них многокристальных интегральных схем.

Жестко-гибкие ПП являются гибридными конструкциями и содержат как жесткие, так и гибкие основания, скрепленные между собой в единую сборку и электрически соединенные металлизированными отверстиями. Наиболее распространены в изделиях оборонной техники, однако расширяется их применение и в промышленной электронике.

ГПП с местным ужесточением (укреплением). В таких платах возможно размещение внутри гибкой основы жестких металлических деталей. Получаются многоэтапным процессом фотолитографии и травления.

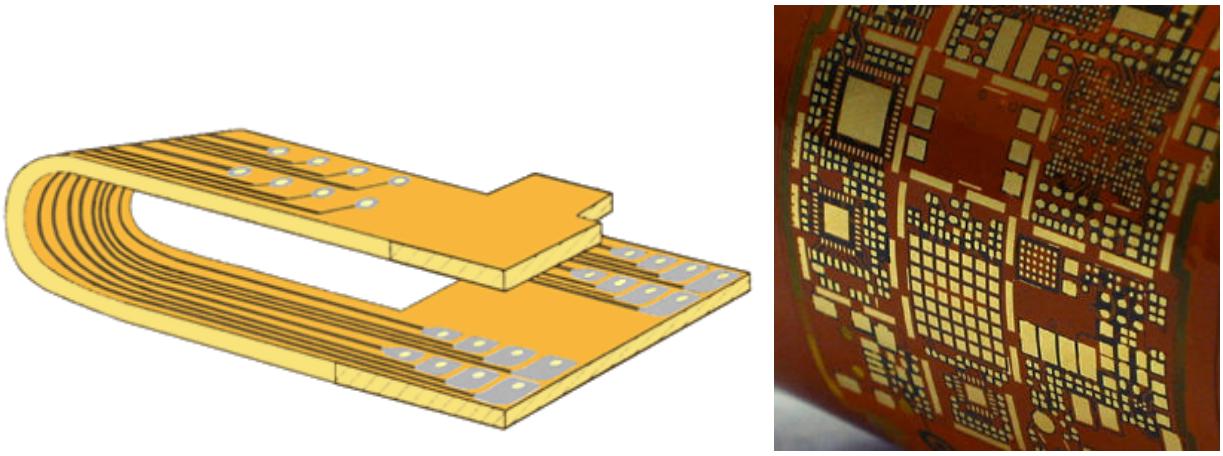


Рис. 48. Гибкие печатные платы

9.5. Рельефные печатные платы

Конструкция и технология изготовления РПП существенно отличаются от традиционных двухсторонних (ДПП) и многослойных (МПП) плат. Заметим, что авторами большинства конструкций и технологий РПП в нашей стране являются А.В. Богданов и Ю.А. Богданов.

РПП представляет собой диэлектрическое основание, в которое углублены медные проводники, выполненные в виде металлизированных канавок, и сквозные металлизированные отверстия, имеющие форму двух сходящихся конусов. Такие канавки и отверстия заполняются припоем. Обычно РПП имеют два проводящих и один изоляционный слой.

Как видно на рисунке 55, элементы проводящего рисунка могут быть следующих видов:

- прямолинейные проводники на первом и втором слоях;
- переходные металлизированные отверстия (для электрического соединения элементов рисунка на проводящих слоях);
- сквозные монтажные металлизированные отверстия (для монтажа штыревых выводов электронных компонентов;
- металлизированные ламели (для монтажа планарных выводов электронных компонентов;
- глухие монтажные металлизированные отверстия (для монтажа планарных выводов электронных компонентов, формованных для пайки встык).

Проводники прямолинейны и параллельны осям X и У, что связано с особенностью технологического оборудования изготовления канавок.

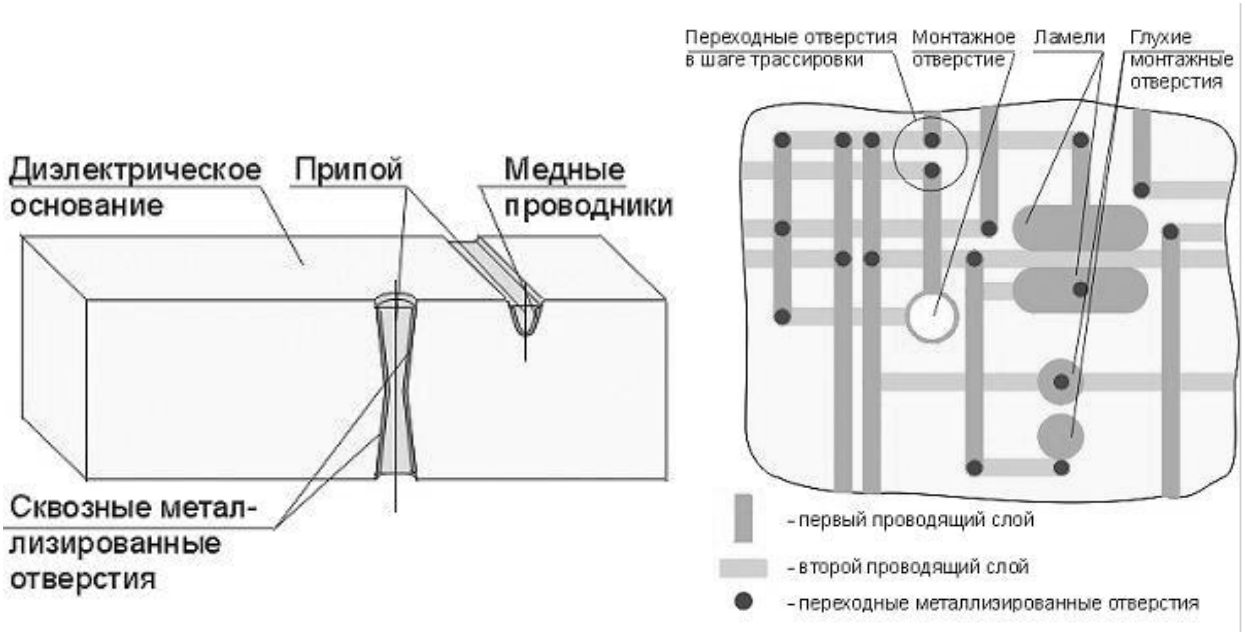


Рис. 49. Структура рельефной печатной платы

9.6. Методы контроля печатных плат

Контроль топологии с помощью системы Aplite 3.

Aplite 3 это автоматизированная система визуального контроля качества печатных плат на любой стадии изготовления. Важнейшей особенностью системы является то, что она использует стандартный планшетный сканер для ввода изображений контролируемых образцов. Никакого специального оборудования не требуется. Контролируемые изделия:

- позитивные и негативные черно-белые и цветные фотошаблоны, изготовленные на стекле или пленке;

- заготовки печатных плат после сверления металлизируемых отверстий;

- заготовки печатных плат с нанесенным топологическим рисунком на любой стадии изготовления;

- готовые печатные платы без элементов. Обнаруживаемые дефекты:

- искажения масштаба (растяжение пленки фотошаблона);

- разрывы проводников;

- перемычки между проводниками;

- нарушение допусков на минимальную ширину печатного проводника и минимальное расстояние между проводниками;

- отсутствующие и смещенные отверстия;

- отверстия, имеющие неверный диаметр;

- отсутствующие и смещенные контактные площадки;

- контактные площадки, имеющие неверный размер или искаженную форму;

- нарушения кольца контактной площадки;

- все расхождения образца и эталона, размеры которых превышают пороговое значение.

Основной метод контроля – сравнение с эталоном. В качестве эталона используется информация из САПР разработчиков печатной платы. Система осуществляет автоматическое совмещение шаблона и эталона. Результаты работы системы выдаются в наглядной форме.

Удобные средства навигации по изображениям и дефектам позволяют оператору быстро принимать решения.

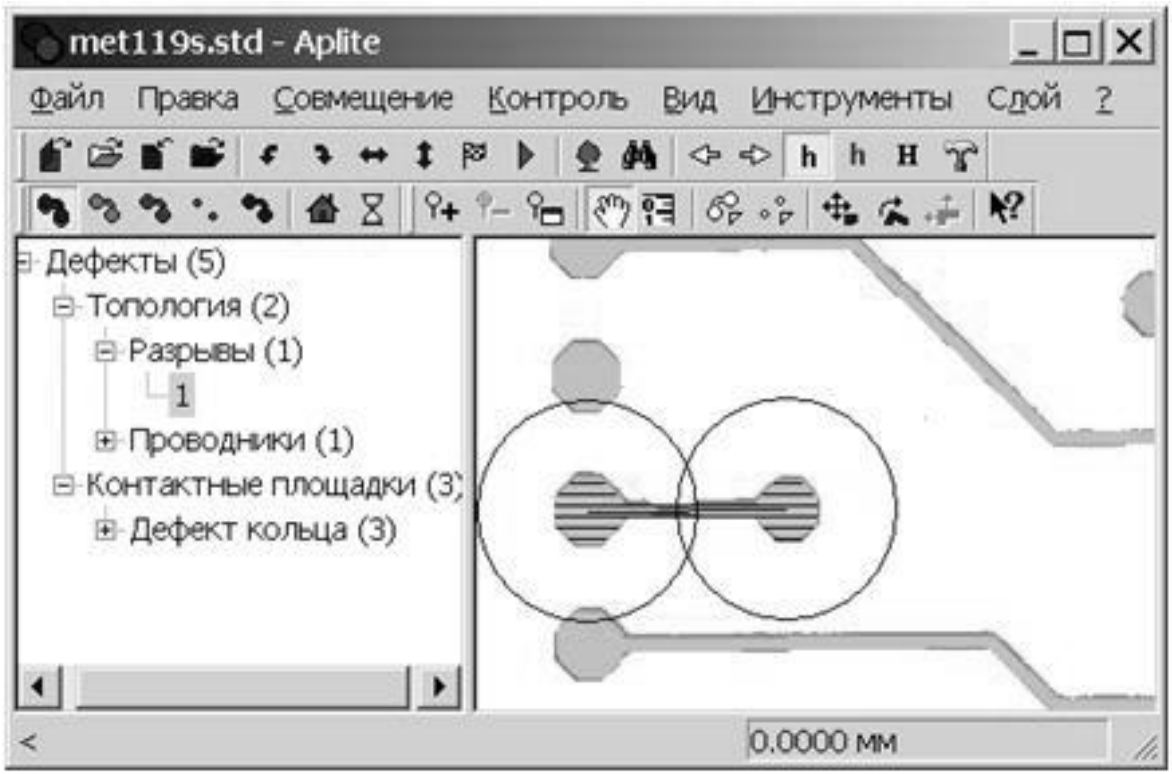


Рис. 50. Рабочее окно программы Aplite 3

Точность контроля определяется максимальным разрешением

сканера, объемом оперативной памяти и быстродействием вычислительной системы. Имеется возможность контроля заготовок по частям.

Электрический контроль

Электрический контроль – важная часть производства печатных плат. Он предназначен для проверки целостности-разобщения печатных плат, что включает в себя проверку на обрыв цепи, короткое замыкание, правильность топологии.

В основе электрического контроля лежит наличие в системе "зонд – проводник платы – зонд" или "зонд – проводник платы – компонент – проводник платы – зонд" контакта. Наличие проводимости в платах обусловлено взаимным расположением цепей и их целостностью в топологии плат.

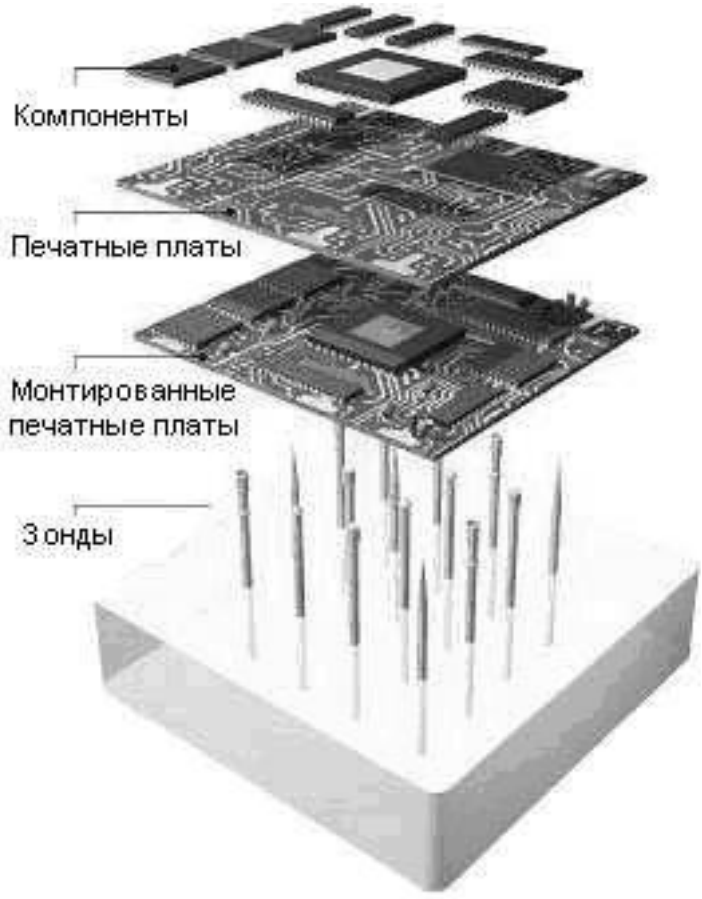


Рис. 51. Зондовая система электрического контроля печатных плат

Электрическим контролем занимается целый ряд фирм: Everett Charles Technologies (ECT), ATG, Mania и так далее. Необходимым объектом для контроля является печатная плата вместе со своей топологией: контактными площадками, зазорами между ними, цепями. Для контроля этих параметров на правильность и точность служат специальные тестовые системы (или системы контроля), в которых для непосредственной проверки используются специальные зонды. Чаще всего они размещаются на адаптере.

С помощью программного обеспечения подготовки данных обеспечивается непрерывный и малозатратный по времени контроль.

Существуют две основные технологии электрического контроля:

1. Ложе гвоздей;

2. Подвижные зонды.

Считается, что технология «ложе гвоздей» предусматривает контроль печатных плат с адаптером, а технология «подвижные зонды» - безадаптерный контроль. Такое положение дел обусловлено только тем, что в технологии «ложе гвоздей» подпружиненные зонды размещаются неподвижно, а в технологии «подвижные зонды» они находятся в движении как сверху платы, так и снизу. Контроль с адаптером более производительный, чем контроль подвижными зондами, однако недостатком "адаптерного" контроля является то, что для каждой платы требуется свой адаптер. Этот отрицательный аспект ликвидируется путём создания универсальных адаптеров, на котором регулярно просверлены отверстия с определённым шагом.

Ложе гвоздей

Также для контроля печатных плат применяются универсальные сетчатые тестеры. Они способны производить электрический контроль одиночной или двойной плотности контрольной точки. Сетчатые тестеры обладают высокими скоростью и производительностью вплоть до 1000 плат в час. Они подходят для контроля плат больших серий. Характерной отличительной чертой большинства сетчатых тестеров является их эксплуатационная гибкость и универсальность, достигаемые посредством варьирования зон контроля и свободой выбора адаптера. Наиболее интересной деталью, улучшающей их работу с высокой точностью, это свободный доступ к верхней и нижней сторонам зоны контроля с вариантом поворота рабочей (верхней) стороны зоны контроля и автоматический самоконтроль.

Подвижные зонды

Технология контроля печатных плат подвижными зондами облегчает проведение контроля и ликвидирует необходимость в контроле с адаптером. Помимо сохранения времени и стоимости в контроле печатных плат, она предусматривает единственный метод проведения контроля точности геометрической схемы платы с

контактными площадками в 2 мм и шагом в 3 мм.

Фирмы, занимающиеся проведением электрического контроля, достигли заметных успехов в совершенствовании этой технологии. Фирма ECT, которая занимается разработкой оборудования для подвижного контроля с 1981 года, выпускает в настоящее время целый ряд установок зондового контроля. В настоящее время широко распространено производство систем контроля линейными зондами, которые способны работать с промышленной производительностью. Фирмой ECT разработана полностью автоматическая установка проверки печатных плат на короткое замыкание Oz™ . Эта система специально предназначена для поиска трудно находимых ошибок и опасных участков.

Тестовая система A2.

Плотности контрольных точек на печатных платах и других взаимосвязанных подложках увеличиваются постоянно и неумолимо, что приводит к уменьшению в размерах контактных площадок и зазоров между ними. Такое положение вещей приобретает всё большее распространение в техническом и экономическом вопросах контроля печатных плат. В системе A2, по замыслу ECT, реализуется тестовая методология, содержащая в себе производительность, высокотехнологическую тестоспособность, надёжность и хорошую экономическую модель.

Величина и сложность процесса контроля (поиск короткого замыкания) долго сказывались на скорости подвижных зондов. Фирма ECT, для увеличения скорости стала использовать запатентованную процедуру: метод Зонного Контроля.

Используя данные CAD и цепей, находящихся на плате, число проверок на короткое замыкание может резко уменьшиться при использовании этого метода. Целостность контроля остаётся незыблемой. Цепи на плате используются как антенны для контроля других цепей.

Один зонд подводит сигнал в цепь, которая выполняет функцию антенны (передатчика). Другой зонд контактирует с цепью, которую надо проверить (приёмник). Одновременно другие зонды подходят к цепям, которые ещё не были проверены.

Каждая из этих цепей показывает характерные значения, которые, если наносятся на диаграмму, образуют индивидуальную кривую - как уникальный "отпечаток пальцев". Четыре цепи, обозначенные как антенны 1-4 на рисунке 58, используются в роли передатчиков. Программное обеспечение подготовки данных автоматически определяет оптимальный выбор антенн, согласно топологии платы. Другие цепи, показанные как цепи 1-4 на рисунке, проверяются.

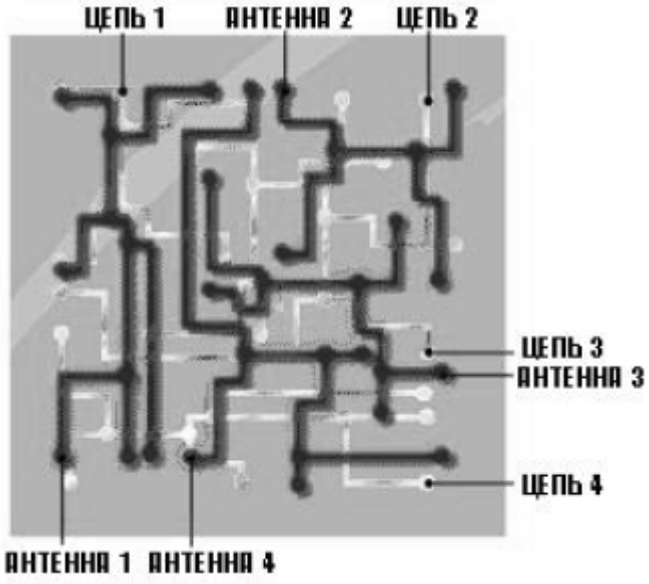


Рис. 52. Метод зонного контроля

За один ход каждая цепь образует характерную кривую с четырьмя значениями, по одному для каждой антенны. Эти значения создают индивидуальный "отпечаток пальцев", дающие возможность контроля. Каждая цепь может быть измерена только один раз. Это значит, что во время контроля изоляции наконечник зонда размещён на только одной контактной площадке на одной цепи или только однажды в конечной точке (по выбору). Вся эта операция происходит одновременно на обеих сторонах платы. Все зонды работают независимо друг от друга, но параллельно. Производительность - это очень важный аспект всех систем подвижных зондов. В противоположность универсальным сетчатым системам (которые одновременно проверяют все контрольные точки), системы подвижных зондов проверяют серийно, двигаясь между каждыми

контрольными точками. Время механического движения составляет большую часть времени контроля.

Подготовка данных, используя данные топологии платы, - важный первый шаг. За этот шаг создаются все данные для системы контроля. Параметры системы контроля и данные контроля в формате фирмы ECT ATF+EPC или IPC-D-356A являются входными данными для программного обеспечения подготовки данных. Программное обеспечение подготовки данных может запускаться на системе контроля или вне неё.

Тестовые данные в программном обеспечении подготовки данных могут визуализироваться и редактироваться. Из этих данных определяется следующее:

- автоматическое и оптимальное размещение плат на системе контроля, обеспечение эффективного размещения зондов в проверяемых точках;

- автоматический выбор антенн для обеспечения оптимальных результатов зонного контроля;

- оптимальное движение зондов, что экономит время;

- соседние данные объединяются для последующего увеличения скорости;

- регистрация точек или изучение "мишеней";

- шаг для загрузки кратного числа плат за одно время.

Техническое оснащение

Двухсторонние системы контроля A2 – это безадаптерные системы контроля. В состав системы A2 входят кодирующее устройство, двигатели с линейной обмоткой, также обеспечивается точное движение по осям X и Y. Контроль обеспечивается независимым измерением движения по оси Z.

Система обеспечивает:

- системная регистрация универсальных результатов обеспечивает быструю однократную или многократную загрузку плат;

- двухкамерная система автоматически обеспечивает точную регистрацию. Фактический результат сжатия, растяжения и дисторсии определяется, и данным контроля автоматически даётся

компенсация;

- каждое движение зондов контролируется высокоразрешающей замкнутой измерительной системой, обнаруживающей ошибки позиционирования.

- система мгновенно указывает на возможный повреждённый контакт между проверяющим зондом и контактной площадкой на плате и на ошибки позиционирования;

- легко используемый диагностический шаблон проверяет аппаратные средства и программное обеспечение. Ошибки регистрируются и документируются;

- предусмотрена возможность сетевого обмена данных. А2 - 12 или 16 зондов:

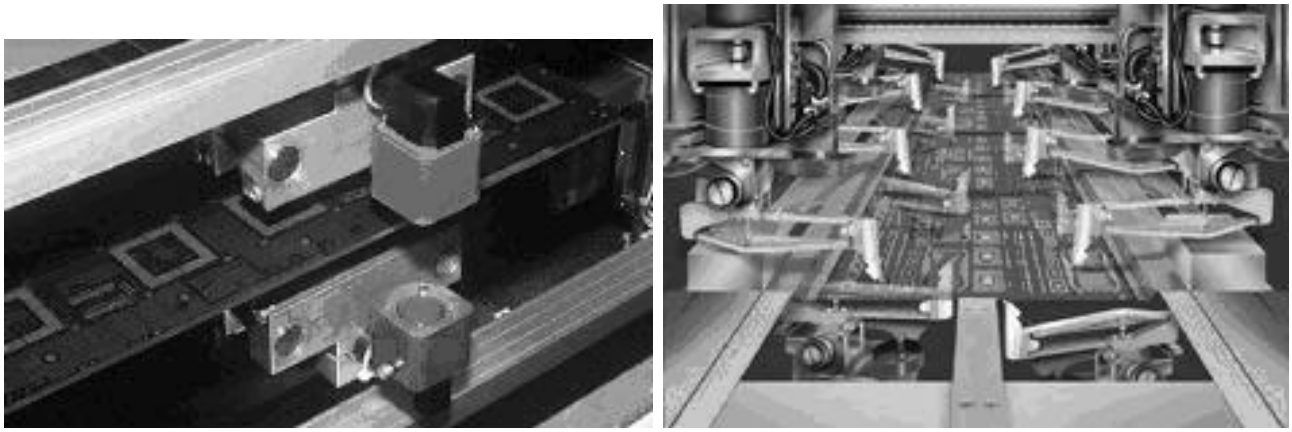


Рис. 53. Техническое оснащение тестовой системы А2

10. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС

10.1. Роль инженера-конструктора в современном радиоаппаратостроении

История РЭС насчитывает несколько поколений, каждое из которых характеризовалось своими уровнями развития функциональной насыщенности и элементной базы.

Наиболее длительным был первый этап – примерно до начала 60-х годов XX века. Основу РЭС этого периода составляли электровакуумные приборы: начиная от простейших диодов и заканчивая сложными многосеточными лампами. Значительный объем и вес электрорадиоэлементов ограничивал роль конструкторов, которые фактически были оформителями материализованной

принципиальной схемы. Основной задачей конструирования было получение оптимальной компоновки элементов и узлов устройства или изделия. В конструкциях строго нужно было разделить входные и выходные цепи, соблюсти магнитную и электромагнитную экранировку излучаюших элементов РЭС (СВЧ-элементов, дросселей, трансформаторов), а также тех элементов РЭС, работа которых сильно искажается различными наводками (предварительные усилители, каскады гетеродина, контуры генераторов). В конструкциях РЭС имела большое значение металлизация шасси с соблюдением высокой проводимости; для обеспечения устойчивой работы РЭС во многих цепях предусматривались развязки. Эстетичности отделки РЭС уделялось мало внимания.

Второй этап продолжался с середины 50-х до начала 80-х годов прошлого столетия и ознаменовался широким внедрением в схемотехнику РЭС полупроводниковых элементов: диодов, транзисторов, тиристоров. При росте функциональной насыщенности, резко (примерно в 10...15 раз) уменьшились габаритные размеры и энергопотребление. Усложнение РЭС потребовало возросших психологических и физиологических затрат труда от обслуживающего персонала. Кроме того, удешевление стоимости РЭС привело к резкому росту класса бытовой аппаратуры. Появилось большое количество телевизоров, радиоприемников, магнитофонов, которые перестали быть средством роскоши. Именно в это время появилась необходимость исследования воздействия на психику человека, на его усталость элементов красоты в окружающей обстановке, удобного и не утомляющего размещения средств индикации, управления и т. п. Результатом этих исследований явились основы двух наук: эргономики и промышленной эстетики.

Главным требованием эргономики является совмещение способностей и возможностей человека-оператора с выходными возможностями РЭС. Выяснилось, что кроме эргономики на работоспособность и утомляемость человека-оператора очень сильно влияет эмоциональный настрой и ощущение красоты окружающей его обстановки.

С середины 50-х годов начало уделяться внимание промышленной эстетике в новых разработках. Ощущение красоты рождает хорошее оптимистическое настроение и хороший деловой настрой у операторов, обслуживающих РЭС. Это означает, что они меньше утомляются по ходу работы и выполняют более качественно свои функции.

Развитие технологии производства гибридных ИМС и полупроводников с заданными свойствами привели к появлению третьего поколения РЭС (70-е годы XX века). Функциональная насыщенность вновь повысилась при снижении удельных массо-габаритных характеристик. Существенный прорыв произошел в области развития средств индикации. Появились светодиоды и индикаторы различного вида на их основе, а также электролюминесцентные индикаторы. Конструкторы получили возможность существенно улучшить дизайн лицевых панелей и изделий в целом. Вместе с тем возникла проблема оптимального выбора и размещения элементов управления, индикации и контроля, связанная с психофизиологическими ограничениями объема воспринимаемой информации человеком-оператором.

В значительной степени эта проблема была решена с появлением первых микропроцессоров, которые можно отнести к классу больших интегральных схем. Они и сопутствующие периферийные ИМС составили основу РЭС четвертого поколения (с начала 80-х до середины 90-х годов XX века). Особенности функционального построения РЭС характеризуются постепенным отказом от обработки сигналов в аналоговом виде и переходом к цифровой обработке. Это потребовало от конструкторов кардинального изменения подходов к проектированию РЭС. Возникла проблема обеспечения электромагнитной совместимости и нормального теплового режима в малых объемах, которая в целом была успешно решена.

По оценке некоторых аналитиков в настоящее время идет широкое внедрение в жизнедеятельность человечества пятого поколения РЭС, основой которой являются микросхемы сверхвысокой степени интеграции – СБИС. Имея в своем составе

миллионы активных элементов, они способны к высокоскоростной и многофункциональной обработке различной информации. Как правило, обработка осуществляется в цифровом виде с предварительным и обратным преобразованием в нужную форму. Характерной особенностью современных элементов управления и индикации является многофункциональность, основанная на системе вложенных меню. При этом общее количество самих элементов резко сокращается, что существенно изменяет внешний вил и дизайн РЭС, ставя перед конструкторами новые задачи и требуя уделения им большого внимания. РЭС с неудобными органами управления, с неправильным расположением органов индикации и с плохой эстетической отделкой не находят спроса у потребителей и являются неконкурентоспособными.

Резкое усложнение РЭС потребовало от конструкторов хороших знаний по радиотехнике и радиосистемам. Сложность РЭС возросла настолько, что малознающий инженер не мог внести большой вклад в разработку РЭС с нужными качествами.

В это время пришлось уделять внимание требованиям надежности, так как сложные системы давали отказы. Задачи, решаемые РЭС или радиотехническими системами, стали или очень дорогими, или ответственными. Чтобы вновь создаваемые РЭС выполняла свои функции качественно и надежно, конструкторы вынуждены изучать эргономику, промышленную эстетику и вопросы надежности, работоспособности, ремонтопригодности. Современные конструкции РЭС, начиная от ИМС и кончая готовыми изделиями, представляют неразъемное и неделимое общее, объединяющее и элементную базу, и способы коммутации, и конструктивные несущие элементы. Это требует от конструктора умения системно решать стоящие перед ним задачи.

10.2. Основные понятия и определения процесса проектирования

Термин ***радиоэлектронные средства (РЭС)*** используют для обозначения устройств различного назначения, имеющих признак общности – использование в комплексной системе обработки информации в целях обеспечения связи, навигации, управления

технологическими процессами изготовления изделий в промышленности, научных исследований и других видов человеческой деятельности.

Все виды РЭС состоят из деталей. ***Деталь*** – это простейший элемент, имеющий ограниченный комплекс свойств, соответствующий его функциональному назначению и изготовленный из одного или нескольких материалов без использования механической сборки. Следует отметить, что приведенное определение в большей степени относится к машиностроительным единицам, поскольку практически ко всем деталям РЭС этот термин неприемлем. Причиной являются сборочные операции при их изготовлении. Тем не менее, использование термина «деталь» правомочно, т. к. детали РЭС имеют строго определенное функциональное назначение. При конструировании РЭС часто используются термины ***«элемент»*** и ***«компонент»***, являющиеся в данной предметной области практически синонимами термина «деталь».

По функциональному признаку все элементы и компоненты РЭС условно относятся к одной из групп:

схемотехнических элементов – схемотехническая (элементная) база РЭС;

конструктивных элементов – конструктивная база РЭС.

Схемотехнические элементы, их компоновка и взаимосвязь в составе РЭС обеспечивают преобразование сигналов различной физической природы для целей, определяемых назначением изделия. Основу современной схемотехнической базы составляют микросхемы, микросборки и микроэлектронные узлы в корпусах или без них. Наряду с микроэлементной базой используются дискретные резисторы, постоянные и переменные конденсаторы, трансформаторы, переключатели, соединители, индикаторы.

Конструктивные элементы, входящие в состав РЭС, обеспечивают механическую прочность, защиту от внешних воздействий, дестабилизирующих работу РЭС (влаги, росы, инея, пониженного или повышенного давления, внешних электрических и магнитных полей), и механическое управление РЭС. Основу

конструктивной базы составляют отдельные монтажные детали и несущие конструкции.

Несущие конструкции предназначены для механического закрепления, зашиты от внешних воздействий и обеспечения доступности схематических элементов при сборке и эксплуатации РЭС. К конструктивной базе также относят:

- механические устройства управления в виде кнопочных и рычажных устройств и ручек, с помощью которых обеспечивается плавное или скачкообразное вращательное или поступательное движение рабочих органов регуляторов (резисторов, конденсаторов и т. п.);

- механизмы для механического перемещения подвижных рабочих элементов РЭС, таких как пленочные, дисковые и другого типа носители информации; электромагнитные элементы; электродвигатели, сельсины, электромагнитные муфты приводов.

Относительная условность разделения первичных элементов РЭС на схемотехнические и конструктивные обусловлена тем, что некоторые из них выполняют функции элементов обеих групп. Например, печатная плата является не только конструктивным несущим элементом для электрорадиоэлементов, но и местом размещения их электрических соединений.

Схемотехнические и конструктивные элементы объединяются в конструктивно-законченные единицы, входящие в состав РЭС в виде пультов, блоков, шкафов, частных конструкций плат с установленными микросхемами, микросборками различной степени интеграции и дискретными элементами. Конкретный состав конструктивно-законченных единиц зависит от назначения РЭС, преимущественного использования того или иного типа схемотехнической базы (дискретные элементы или микроэлементы), условий эксплуатации (легкие, средние, жесткие) и т. п.

Условия эксплуатации следует выделить особо, так как они оказывают существенное влияние на конструктивно-технологические особенности деталей и в первую очередь деталей, образующих конструктивную базу.

При проведении проектно-конструкторских работ используются

термины в соответствии с ГОСТ 2.101-68 «Разработка конструкторской документации. Термины и определения».

Изделие – любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

Компоновка РЭС – размещение в пространстве или на (плоскости элементов, имеющих электрические соединения в соответствии с принципиальной схемой, и обеспечение допустимого минимума паразитных взаимодействий, которые не нарушают значения расчетных выходных параметров РЭС.

Проектирование – процесс создания проекта-прототипа, прообраза предполагаемого или возможного объекта.

Проектирование РЭС – разработка проектной и конструкторской документации, предназначенной для создания новых видов и образцов РЭС.

Определение термина «проектирование» отражает две его особенности. Во-первых, в процессе проектирования предполагаемый объект еще не материализуется, а создается лишь его прообраз на другой материальной основе (чертежи и другие документы). Во-вторых, изготовленное по проекту изделие в силу ряда причин (например, из-за недостаточной точности математических моделей и др.) оказывается неадекватным предполагаемому и, следовательно, является лишь его прототипом.

Конструирование – процесс отражения в чертежах структуры, размеров, формы, материалов, обработки и связей (внутренних и внешних) будущего изделия.

При определении понятий «проектирование» и «конструирование» обычно возникают трудности. Часто процесс проектирования называют конструированием, а иногда наоборот. Такое положение объясняется некоторым пересечением этих понятий. На начальной стадии проектирования изделия конструкторских работ, т. е. конструирования, нет (рисунок). Позднее в составе проектных работ появляется конструирование, которое продолжается и после окончания проектирования, как стадия разработки рабочей конструкторской документации. Таким образом, разработка структурной и принципиальной схем относится к чисто

проектным процедурам, а сами схемы - к проектным документам.

Рис. 54. Взаимоотношение процессов проектирования и конструирования

Разработка чертежа общего вида изделия – пример конструирования при проектировании изделия может быть названа проектированием или конструированием, а чертеж общего вида – проектным или конструкторским документом. Но разработка чертежа это чисто конструкторская процедура, и рабочий чертеж относится только к конструкторским документам. Следовательно, на одних стадиях разработки термины «проектирование» и «конструирование» синонимы, а на других их смешение недопустимо.

Проектный документ – документ, выполненный по заданной форме, в котором представлено какое-либо проектное решение, полученное при проектировании.

Проектное решение – промежуточное или конечное описание объекта проектирования, необходимое и достаточное для рассмотрения и определения дальнейшего направления или окончания проектирования. Проектными решениями, например, являются принципиальная схема, чертеж общего вида и т. п.

Проектная процедура – совокупность действий, выполнение

которых оканчивается проектным решением. К проектным процедурам, например, относятся изучение технической литературы, разработка схемы, моделирование и др.

Прототип – наиболее близкий по технической сущности и по достигаемому эффекту предшественник изделия, устройства. Например, транзисторный усилительный каскад с общим эмиттером без термостабилизации является прототипом такого же каскада, но с термокомпенсируюшим диодом во входной цепи, поскольку это усовершенствование было внесено в каскад общим эмиттером позднее.

Электрорадиоэлемент (ЭРЭ) – прибор или устройство, выполняющее функции преобразования, распределения, переключения электрических сигналов, реализуемых электрической схемой. К ЭРЭ следует относить: резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы, микросхемы, трансформаторы, реле, переключатели, тумблеры, кнопки, предохранители и др.

Элементная база – совокупность ЭРЭ, применяемых в электрическом монтаже с учетом их конструктивно-функциональной принадлежности. Например, элементной базой современных РЭС являются цифровые и аналоговые ИМС, дискретные ЭРЭ или их сочетание.

Функциональная ячейка – конструктивно законченная сборочная единица, состоящая из узлов, интегральных микросхем и других навесных ЭРЭ, установленных на одну или нескольких печатных плат. Ячейка, как правило, не имеет самостоятельного эксплуатационного назначения. К ячейкам следует также относить узел печатный, типовой элемент замены и субблок.

Блок – функционально и конструктивно законченная сборочная единица, состоящая из ячеек, кассет и ЭРЭ. Блок, как правило, не имеет самостоятельного эксплуатационного назначения. Например, жесткий диск ПЭВМ функционально и конструктивно завершен, но не может иметь самостоятельного эксплуатационного назначения.

Прибор – функционально и конструктивно законченная сборочная единица, состоящая из ячеек, кассет и ЭРЭ, имеющая самостоятельное эксплуатационное назначение. Например, монитор

ПЭВМ является прибором, так как он эксплуатируется автономно.

10.3. Конструктивная иерархия РЭС

Современные конструкции РЭС классифицируются по двум основным признакам.

По уровням функциональной сложности РЭС можно подразделить на следующие группы:

а) радиоэлектронная система (например, система управления воздушным движением);

б) радиоэлектронный комплекс (например, навигационный комплекс):

в) блок (например, блок передатчика);

г) субблок (например, субблок формирования опорных частот);

д) функциональный узел (например, узел опорного генератора).

По сложности уровня компоновки конструкции подразделяют на четыре вида:

- Первый уровень компоновки. Микросборки, микросхемы и ЭРЭ. Данный уровень включает в себя два вида радиоэлектронных модулей (РЭМ):

РЭМ-0 – бескорпусные компоненты и детали, изготовляемые без сборки;

РЭМ-1 – корпусированные элементы.

Микросхемы для широкого применения выпускаются крупными сериями специализированными заводами, а микросборки (в основном гибридные) разрабатываются для конкретной аппаратуры.

- Второй уровень компоновки. Функциональные ячейки (ФЯ), типовые элементы замены или РЭМ-2. На общем несущем основании компонуются как элементы первого уровня, а также элементы коммутации и контроля. В качестве несущих основании функциональных ячеек чаше всего применяются печатные платы и металлические рамки.

- Третий уровень компоновки. Блоки (РЭМ-3). Компоновка блоков осуществляется путем сборки ФЯ в пакеты, и корпусирование пакетов в блоки. Блоки имеют различные конструктивные разновидности.

- Четвертый уровень компоновки. Многоблочные конструкции, в которых блоки компонуются в общем несущем основании. Таким основанием для бортовых РЭС может служить в частном случае общая амортизационная рама или стеллаж, для стационарной - шкафы, стойки и пульты. Данный уровень включает в себя РЭМ-4 и РЭМ-5.

Приведенное деление РЭС по конструктивным и функциональным признакам позволяет оптимизировать процесс проектирования на различных этапах.

10.4. Проблемы проектирования и оптимизации конструкции РЭС

Современный этап проектирования и производства РЭС характеризуется все большим внедрением микроэлементов и элементов для поверхностного монтажа в рамках комплексной микроминиатюризации.

Под ***комплексной микроминиатюризацией (КММ)*** в широком смысле понимают системный подход к применению в РЭС всех средств микроэлектроники, отображающий внедрение новых принципов создания РЭС на базе ИС сверхвысокой степени интеграции и разработок математического и аппаратурного обеспечения для автоматизированных систем проектирования, конструирования, изготовления и контроля.

Основной задачей КММ при все возрастающей сложности аппаратуры является обеспечение ее высокой надежности, малых масс и объемов, повышенных эксплутационных характеристик, технологичности, серийноспособности и как следствие конкурентоспсособности. Выполнение этих требований возможно в первом приближении в том случае, если практически все узлы, блоки и устройства, входящие в более сложные комплексы, имеют соизмеримые значения основных конструктивно-технологических показателей (надежность, масса, объем, процент выхода годных, стоимость и т. п.). Если снивелировать все уровни основных показателей устройств РЭС не удается, то можно утверждать, что задача КММ решается не полностью, а выбранный вариант

конструкции нельзя считать оптимальным.

Например, если большинство устройств комплекса выполнено на ИС, а хотя бы одно из них на дискретных элементах, то именно оно, имея наименьшую надежность, будет в целом уменьшать надежность всего комплекса. То же самое можно утверждать и о массе, технологичности, стоимости.

Примерами неполного решения вопросов КММ являются все еще существующие диспропорции по основным показателям в конструкциях аппаратуры, такие, как значительные «доли» масс и объемов кабельной сети и систем охлаждения в многоблочных конструкциях, элементов коммутации (разъемов и жгутов) - в блоках, несущих конструкций (плат, рамок) - в функциональных ячейках и т. д. Эти диспропорции приводят к значительным дезинтеграциям основных показателей конструкций при переходе от уровня элементной базы к более высоким компоновочным уровням.

К основным направлениям КММ относятся

- дальнейшее развитие и внедрение в практику проектирования, конструирования и технологии изготовления новых принципов схемотехники (микросхемотехники);
- разработка новых принципов компоновки РЭС;
- совершенствование и развитие новых способов и методов коммутации;
- повышение эффективности систем теплопередачи при одновременном уменьшении их масс и объемов;
- разработка и промышленное освоение новых видов прочных, жестких и теплопроводящих материалов несущих конструкций:
- дальнейшая автоматизация проектных, конструкторских работ и технологии производств.

Под термином ***«оптимизация конструкции РЭС»*** в узком смысле можно понимать выбор ее оптимальных форм, объемов, элементной базы, тепловых режимов и т. п., т. е. выбор оптимального варианта конструкции РЭС. В более широком смысле он включает в себя выбор конструкции более сложных устройств и их комплексов, оптимальных по комплексному показателю качества конструкции (критерию оптимизации), полученных за счет оптимизации, самой

структуры и параметров проектируемых устройств и всего комплекса в целом.

Комплексный показатель качества конструкции неразрывно связан с совокупностью его материальных параметров, что обеспечивает требуемые значения функциональных параметров. Он может быть представлен в виде линейной и нелинейной функций, а оптимизация его может быть проведена методами последовательных итераций (приближений и подбора) или методами линейного и нелинейного программирования с помощью ЭВМ.

10.5. Основные этапы проектирования РЭС и их характеристика

Разработку и производство нового изделия целесообразно начинать на основании изучения потребности общества и его технико-экономических возможностей. Изделия, подлежащие разработке и постановке на производство, по техническому уровню и качеству должны соответствовать требованиям, находящимся на уровне лучших отечественных и мировых достижений или превосходить их. Это обеспечит конкурентоспособность на внутреннем и внешним рынках и экономическую эффективность.

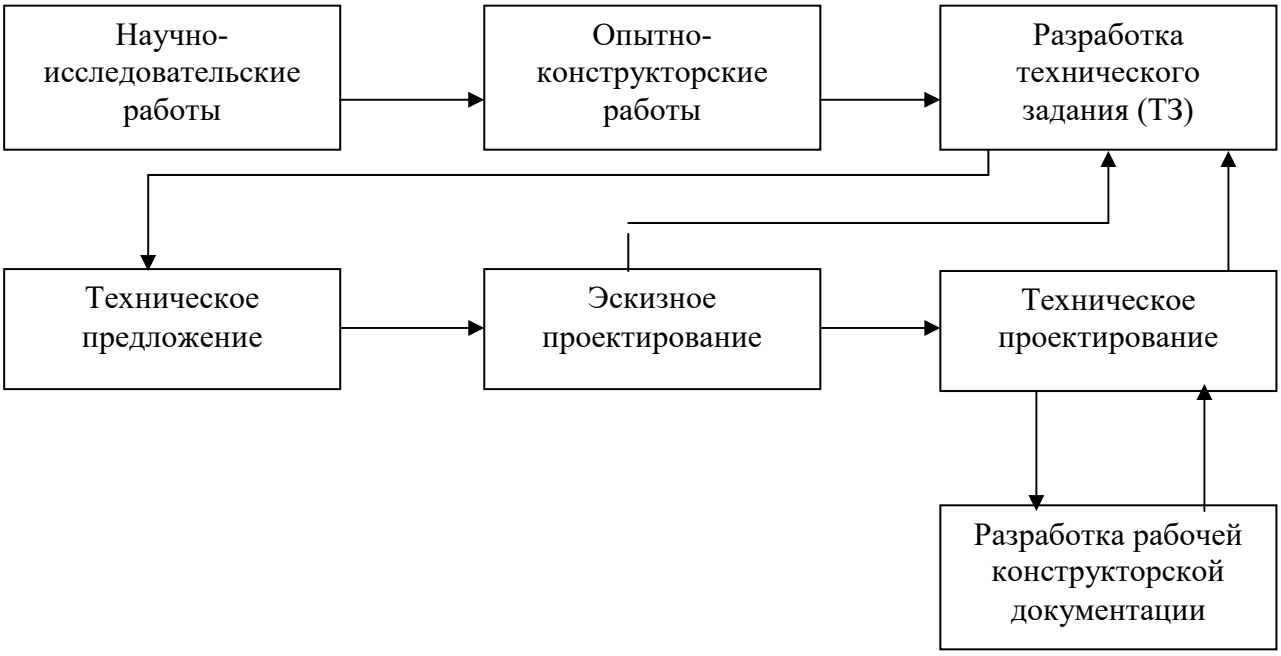


Рис. 55. Последовательность проведения проектно-конструкторских работ

Цель научно-исследовательских работ состоит в определении принципиальной возможности и экономической целесообразности создания изделия с заданными техническими характеристиками. Кроме того, формируются научно обоснованные данные для разработки технического задания. Производится предварительная теоретическая и эксплуатационная проработка алгоритмов функционирования РЭС и принципов реализации конструкции.

Для выявления наиболее эффективных решений по результатам НИР могут быть проведены опытно-конструкторские работы. ОКР выполняются в соответствии с техническим заданием для разработки конструкторской документации на изделие, включая приемочные испытания опытных образцов (опытных партий).

Опытно-конструкторские работы являются процессом инженерного воплощения теоретических результатов, полученных в НИР, в схему и конструкцию изделия. ***Цель проведения ОКР*** – оценка возможности реализации наиболее важных теоретических результатов существующими технологиями и анализ эффективности их использования для получения изделия с предполагаемыми свойствами и техническими характеристиками.

Разработка технического задания выполняется на основе результатов исследований, с одной стороны, и запроса жизни, с другой стороны. Заказчики составляют первоначальный вариант технического задания. Затем назначается госкомиссия по разработке ТЗ (для изделий межведомственного и государственного значения). В комиссию входят представители заказчиков, представители разработчиков и приглашенные специалисты, которые являются ведущими в данной отрасли или в данном направлении. Техническое задание должно содержать необходимые и достаточные требования для разработки изделия и не ограничивать инициативу разработчика при поиске и выборе им оптимального решения поставленной задачи.

При составлении ТЗ все пункты должны быть изложены ясно и технически понятно, с тем, чтобы не могли возникнуть разночтения и разнотолкования у заказчиков и разработчиков. ТЗ должно охватывать все параметры будущего изделия и должно отражать:

- назначение РЭС (для специализированных изделий

указывается подробный перечень решаемых задач);

- условия эксплуатации, хранения и транспортирования (для специализированных РЭС указываются объекты, с которыми должна сопрягаться аппаратура, условия стыковки и т. д.);

- основные технические характеристики, конструкторские параметры; надежность; стоимость; рекомендуемые для использования схемные элементы; общетехнические требования: пределы температуры, влажности, колебания напряжения сети, помехозащищенность и т. п.);

- требования к источникам питания.

Цель технического предложения – теоретическая и экспериментальная проверка основных положений ТЗ и на основе этого уяснения реальности выполнения ТЗ.

Цель эскизного проектирования – проверить и показать в материале и металле работоспособность идеи, сформулированной в ТЗ. В процессе ЭП намечаются и проверяются главные конструктивные и технологические решения. На этом этапе окончательно отрабатываются структурная и функциональная схемы и дается первый рабочий вариант принципиальной электрической схемы, окончательно выбирается элементная база и конструктивное оформление печатных плат.

На стадии ***технического проектирования*** окончательно отрабатывается принципиальная электрическая схема и на основе ее, руководствуясь техническим заданием, разрабатывается вновь вся конструкция изделия. На этой стадии полностью и тщательно отрабатывается конструкция и конструкторские документы с тем расчетом, как если бы это была последняя и окончательная разработка. Чем тщательнее разрабатывается технический проект, тем легче и скорее проходит сдача остальных этапов проектирования, внедрение и запуск изделия в производство.

На этапе ***разработки рабочей конструкторской документации***, на основе отработанной документации на предыдущих этапах полностью разрабатывается технология изготовления в опытном производстве всех деталей и узлов без исключения. Разработка проекта проходит этап нормирования труда.

На вновь разработанной технологии и без отступления от нее изготавливаются опытные образцы изделия (3-5 шт.).

11. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О САПР РЭС

11.1. Применение ЭВМ для автоматизации проектирования РЭС

Различные вычислительные средства уже давно используются специалистами в проектно-конструкторских работах. Быстродействие современных ЭВМ позволяет решать такие задачи, которые в принципе недоступны для «ручных» методов расчета, дает возможность учесть значительно большее число факторов, влияющих на функционирование и производство РЭС, резко повысить число рассматриваемых вариантов при проектировании. С помощью ЭВМ осуществляются анализ и синтез схем, их оптимизация, компоновка и размещение элементов конструкции РЭС, находятся оптимальные варианты электрического соединения элементов (трассировки) и решаются многие другие сложные задачи.

Широко используются автоматизированные средства для подготовки технической документации. Так, для изготовления чертежей и описательных документов (электрических схем, сборочных чертежей, таблиц соединений, спецификаций) применяются специальные чертежные автоматы, графопостроители и алфавитно-цифровые печатающие устройства, управляемые с помощью ЭВМ.

На первом этапе применения ЭВМ для автоматизации проектирования дело сводилось к решению частных задач проектирования, носивших главным образом расчетный характер. Для каждой задачи строилась ее математическая модель, выбирался численный метод и разрабатывался алгоритм решения. На основе алгоритма создавалась программа на одном из алгоритмических языков. Полученные от ЭВМ результаты подвергались необходимой обработке «вручную».

Однако при описанном «позадачном» подходе к автоматизации ЭВМ решают весьма ограниченный круг вопросов, не соответствующий их потенциальным возможностям, по существу

отсутствует взаимодействие разработчиков с ЭВМ, не учитывается сильная взаимосвязь между различными этапами и уровнями проектирования.

Так, этап конструкторского проектирования часто сводится к решению задач, оторванных от электрической природы аппаратуры и ее функционирования. Критерии оптимизации конструкции в большинстве случаев не учитывают функциональных факторов. В то же время электромагнитные связи элементов конструкции существенно проявляются во многих случаях на функционировании РЭС.

С другой стороны, схемотехнический этап проектирования во многих случаях не учитывает конструкторско-технологических, эксплуатационных и экономических факторов. В результате этого разрыва спроектированная аппаратура по эффективности оказывается далекой от оптимальной, хотя на каждом этапе принимаются меры и затрачиваются большие интеллектуальные и материальные средства на оптимизацию.

При традиционном методе вмешательство проектировщика и автоматические процедуры проектирования не предусматриваются, хотя это может обеспечить значительный эффект.

Все эти трудности и противоречия привели к необходимости решения задач автоматизации проектирования на основе системного подхода как в части его организации, так и в части аппаратных вычислительных средств и их программно-математического обеспечения. Это породило новый этап автоматизации проектирования – этап создания систем автоматизированного проектирования.

Каковы основные черты систем автоматизированного проектирования и их принципиальные отличия от «позадачных» методов автоматизации?

Первой характерной особенностью является возможность комплексного решения общей задачи проектирования, установления тесной связи между частными задачами, т.е. возможность интенсивного обмена информацией и взаимодействие не только отдельных процедур, но и этапов проектирования. Например,

применительно к техническому (конструкторскому) этапу проектирования САПР позволяет решать задачи компоновки, размещения и трассировки в тесной взаимосвязи, которая должна быть заложена в технических и программных средствах системы.

Применительно к системам более высокого уровня можно говорить об установлении тесной информационной связи между схемотехническим и техническим этапами проектирования. Такие системы позволяют создавать радиоэлектронные средства, более эффективные с точки зрения комплекса функциональных и конструкторско-технологических требований.

Вторым отличием САПР является интерактивный режим проектирования, при котором осуществляется непрерывный процесс диалога «человек-машина». Сколь ни сложны и изощренны формальные методы проектирования, сколь ни велика мощность вычислительных средств, невозможно создать сложную аппаратуру без творческого участия человека. Системы автоматизации проектирования по своему замыслу должны не заменять конструктора, а выступать мощным средством обеспечения его творческой деятельности.

Третья особенность САПР заключается в возможности имитационного моделирования радиоэлектронных систем в условиях работы, близких к реальным. Имитационное моделирование дает возможность предвидеть реакцию проектируемого объекта на самые различные возмущения, позволяет конструктору «видеть» плоды своего труда в действии без макетирования. Ценность этой особенности САПР заключается в том, что в большинстве случаев крайне трудно сформулировать системный критерий эффективности РЭС. Эффективность связана с большим числом требований различного характера и зависит от большого числа параметров РЭС и внешних факторов. Поэтому в сложных задачах проектирования практически невозможно формализовать процедуру поиска оптимального по критерию комплексной эффективности решения. Имитационное моделирование позволяет провести испытания различных вариантов решения и выбрать лучший, причем сделать это быстро и учесть всевозможные факторы и возмущения.

Четвертая особенность заключается в значительном усложнении программного и информационного обеспечения проектирования. Речь идет не только о количественном, объемном увеличении, но и об идеологическом усложнении, которое связано с необходимостью создания языков общения проектировщика и ЭВМ, развитых банков данных, программ информационного обмена между составными частями системы, программ проектирования, коррекции работы машины, ее обучения; систематизации и обобщения опыта, усовершенствования стратегии принятия решений.

Пятая особенность заключается в значительном усложнении технических средств САПР. Системы автоматизации проектирования требуют применения машин высокой производительности, многомашинных комплексов, разветвленной системы периферийных устройств, в частности устройств отображения информации, диалога и изготовления документации.

И, наконец, последняя особенность САПР, которую можно отметить, заключается в замкнутости процесса автоматизированного проектирования. Под этим подразумевается, что проектировщик вводит в машину информацию на уровне замысла, а в результате диалогового процесса проектирования машина выдает технические решения и документацию, необходимую для изготовления РЭС и автоматизированного управления технологическими процессами ее производства.

Системы программ, предназначенные для автоматизации проектирования РЭС (системы автоматизированного проектирования электроники EDA), можно разделить на четыре основные группы: системы инженерных расчетов, системы схемотехнического проектирования, системы конструкторского проектирования и системы технологической подготовки производства. Это деление весьма условно, т.к. в последнее десятилетие наметилась явная тенденция интеграции пакетов программ для сквозного проектирования РЭС.

Также, кроме этих основных групп пакетов программ, в САПР РЭС широко используются различные вспомогательные пакеты: математические пакеты, базы данных, графические и текстовые

редакторы, электронные таблицы и т.п.

11.2. Общие сведения о системе САПР РЭС OrCAD

На начальном этапе распространения в нашей стране САПР электронной аппаратуры на персональных компьютерах наибольшее распространение получили, пожалуй, пакеты программ P-CAD и OrCAD на платформе DOS. Оба пакета решали примерно одинаковые задачи: графический ввод принципиальных схем и разработка печатных плат, моделирование цифровых устройств и проектирование программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Моделирование аналоговых устройств предлагалось выполнять с помощью программы PSpice фирмы MicroSim. Однако однозначно ответить на вопрос: «Что лучше, P-CAD или OrCAD?» — невозможно. Каждый из этих пакетов имеет свои особенности, определяющие круг пользователей. Пакет P-CAD стал фактическим стандартом на промышленных предприятиях, обеспечивая выпуск конструкторской и технологической документации. Его последняя версия P-CAD 8.7 выпущена в марте 1998 году OrCAD для DOS имел очень удобный редактор принципиальных схем, что обусловило его популярность. Однако редактор печатных плат и средства вывода данных на периферийные устройства были удобнее в P-CAD. Поэтому после создания в OrCAD принципиальных схем обычно списки соединений передавались в P-CAD для вывода схем на принтер или плоттер и разработки печатной платы. Однако с появлением новых версий этих пакетов ситуация изменилась.

Во-первых, из состава P-CAD версий 6.0-8.7 исключили программу моделирования цифровых устройств PC-LOGS, предусмотрев вместо этого интерфейс со специализированной системой проектирования цифровых устройств ViewLogic, в то время как фирма OrCAD интенсивно развивала собственные средства моделирования цифровых устройств и интерфейсы с программами разработки наиболее популярных ПЛИС. Во-вторых, OrCAD раньше переведен на платформу Windows, в то время как презентация P-CAD для Windows под названием ACCEL EDA 12.0 (разработчик фирма ACCEL Technologies) состоялась лишь в конце февраля 1996 году.

Однако пакет ACCEL EDA раньше переведен на полностью 32-разрядную операционную систему Windows. Летом 1998 года выпущена версия ACCEL EDA 14.0 для Windows 95/NT, в которой помимо расширения функциональных возможностей разработки печатных плат в ручном, автоматическом и интерактивном режиме, предусмотрены средства составления технической документации, ведения документооборота и организации работы большого коллектива разработчиков, используя средства Интернет. Кроме того, предусмотрены интерфейсы с различными программами, в частности, со специализированной программой размещения компонентов и трассировки печатных проводников SPECCTRA фирмы Cadence Design Systems, пакетом программ проектирования цифровых устройств Workview Office (фирма Viewlogic Systems), программой моделирования аналого-цифровых устройств Dr.Spice A/D (фирма Deutsch Research), программой анализа электрических характеристик проекта с учетом особенностей топологии печатной платы Signal Integrity (фирма INCASES Engineering), программой доработки печатных плат перед выпуском фотошаблонов ACCEL Gerber (фирма Advanced CAM Technologies). Все это дает основание считать ACCEL EDA для Windows профессиональной системой разработки печатных плат, практически полностью совместимой с популярной системой предыдущего поколения P-CAD для DOS, причем версии ACCEL EDA 15.1 присвоили наименование P-CAD 2000, следующая версия носит название P-CAD 2001.

Фирма OrCAD (основана в 1985 году) в начале 1997 года выпустила систему нового поколения OrCAD 7.0 для Windows. Моделирование аналоговой или смешанной аналого-цифровой части проекта проводится с помощью программы PSpice, передавая описание проекта в текстовом виде, или с помощью пакета ICAP фирмы Intusoft, интегрируемого с графическим схемным редактором OrCAD Capture.

В начале 1998 года фирмы MicroSim и OrCAD объединились, причем новая фирма получила название OrCAD. В результате под маркой OrCAD начали распространяться программы моделирования и оптимизации аналоговых и смешанных аналого-цифровых

устройств, разработанные прежде фирмой MicroSim и не имеющих пока интерфейса с редактором схем OrCAD Capture. В ноябре 1998 года выпущена новая система OrCAD 9.0, объединившая все перечисленные выше модули под управлением одной интегрированной оболочки.

В марте 2000 года отделение Cadence PCB System Division фирмы Cadence Design Systems, в которое преобразована компания OrCAD, выпустило очередную версию OrCAD 9.2. В нее включили второй редактор принципиальных схем PSpice Schematics, заимствованный из популярного в свое время пакета DesignLab и из нее, к сожалению, исключили модуль проектирования цифровых устройств OrCAD Express (замененный поставляемым отдельно пакетом программ FPGA Studio фирмы Synplicity).

Представление о версии OrCAD 9.2 дает перечень входящих в ее состав программных модулей:

OrCAD Capture – графический редактор схем;

OrCAD Capture CIS (Component Information System) – графический редактор схем, дополненный средством ведения баз данных компонентов, при этом зарегистрированные пользователи получают через Интернет (с помощью спужбы ICA, Internet Component Assistant) доступ к каталогу компонентов, содержащему более 200 тыс. наименований;

PSpice Schematics – графический редактор схем, заимствованный из пакета DesignLab;

OrCAD PSpice AID – программа моделирования аналоговых и смешанных аналого-цифровых устройств, данные в которую передаются как из PSpice Schematics, так и из OrCAD Capture;

OrCAD PSpice Optimizer – программа параметрической оптимизации;

OrCAD Layout – графический редактор печатных плат;

OrCAD Layout Plus – программа OrCAD Layout, дополненная бессеточным автотрассировщиком SmartRoute. использующим методы оптимизации нейронных сетей (используется также в системах Protel 99 SE и P-CAD 2000);

OrCAD Layout Engineer's Edition – программа просмотра

печатных плат, созданных с помощью Layout или Layout Plus, средство общей расстановки компонентов на плате и прокладки наиболее критических цепей, выполняемых инженером-схемотехником перед выдачей задания на проектирование печатной платы конструктору;

OrCAD GerbTool – программа создания и доработки управляющих файлов для фотоплоттеров (разработка фирмы WISE Software Solutions специально для OrCAD, аналог программы CAM350);

Visual CADD – графический редактор фирмы Numera Software (упрощенный аналог AutoCAD).

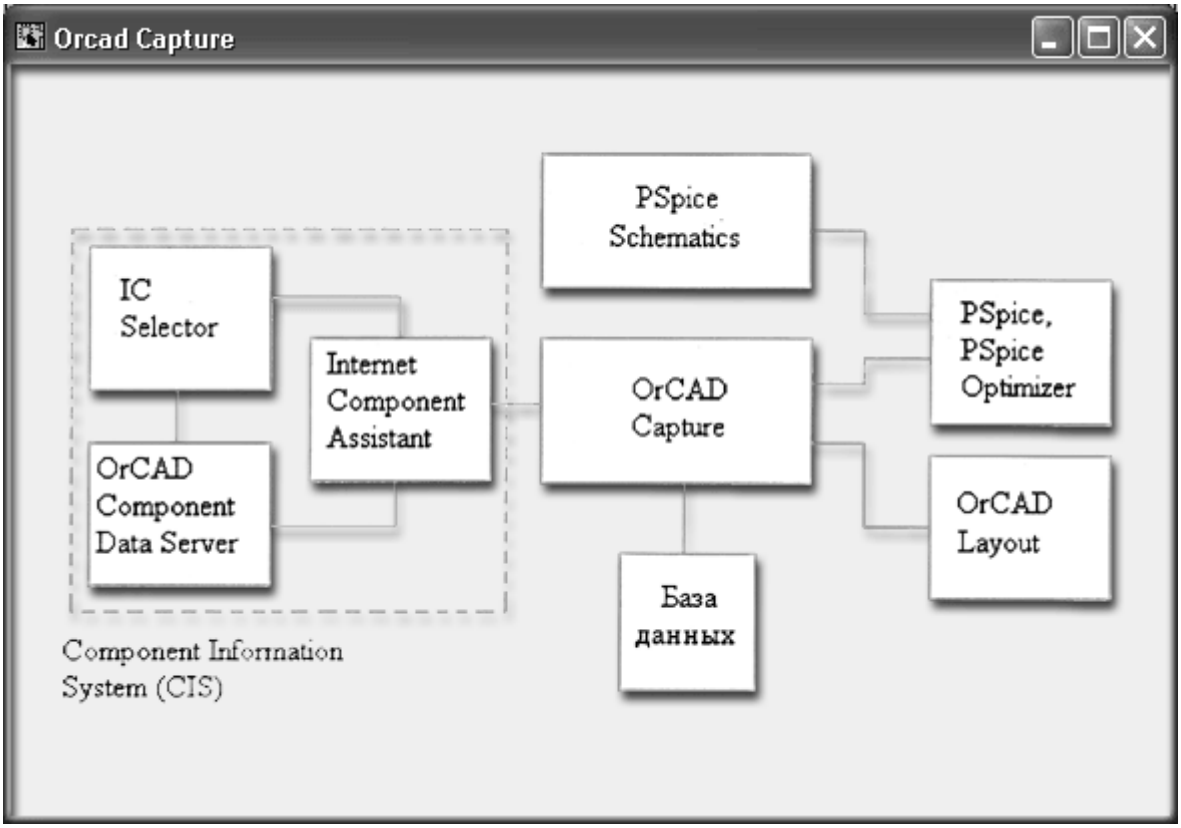


Рис. 56. Взаимосвязь OrCAD Capture с другими программами

Общая характеристика программы OrCAD Capture

Программа OrCAD Capture предназначена для создания проекта, часть которого может быть задана в виде принципиальной электрической схемы, а другая часть может быть описана на языке высокого уровня VHDL. Кроме того, из оболочки OrCAD Capture запускаются программы моделирования аналоговых, цифровых и

смешанных аналого-цифровых устройств PSpice и параметрической оптимизации PSpice Optimizer В программе OrCAD Capture проекты подразделяются на несколько типов.

На рисунке 63 изображен экран программы OrCAD Capture 9.2. В его верхней части расположено меню команд и ниже – панель инструментов.

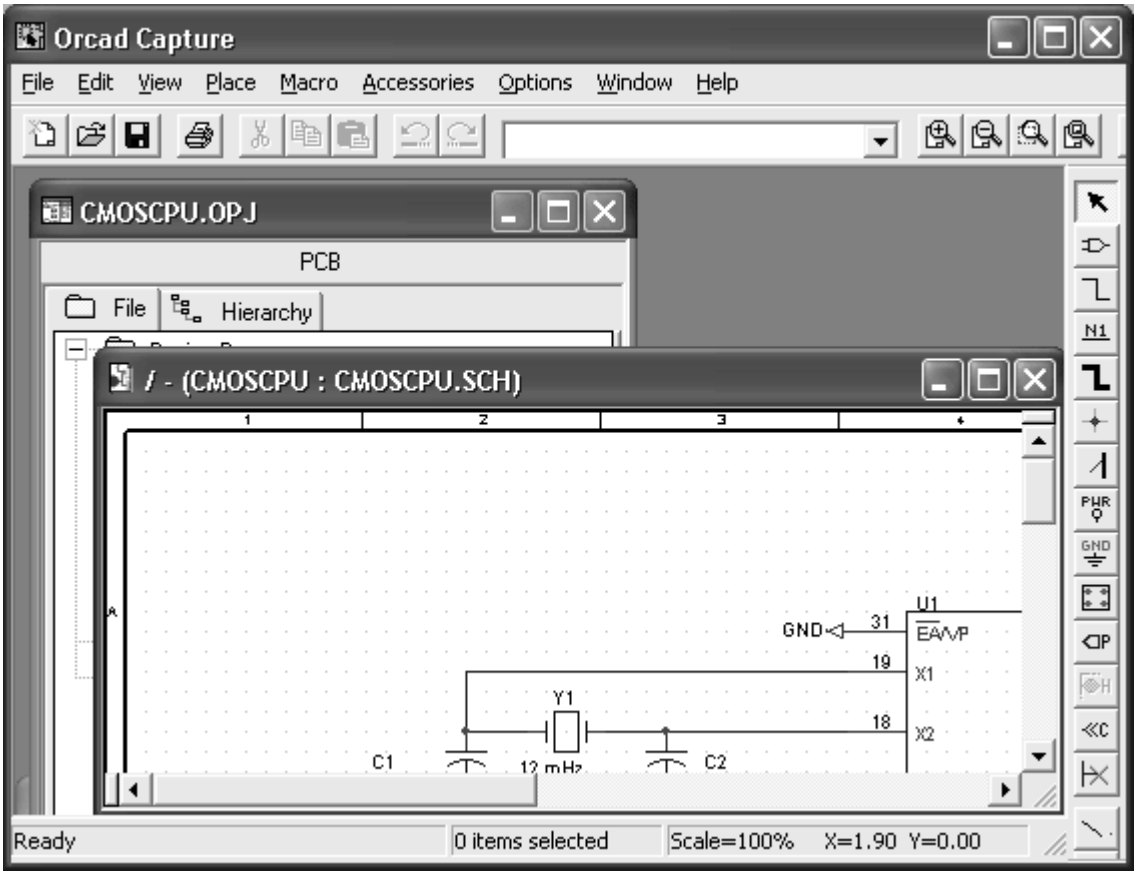


Рис. 57. Экран программы OrCAD Capture

При создании проекта в соответствии с его типом автоматически загружаются необходимые библиотеки компонентов (позднее их перечень можно изменить вручную), при этом для всех специализированных проектов возможна передача информации в программу OrCAD Layout для создания печатных плат (ПП). На рисунке показана взаимосвязь OrCAD Capture с другими программами системы OrCAD. При создании принципиальных схем проекта необходимая информация отыскивается во встроенной базе данных, которая поставляется вместе с системой и пополняется пользователями. Причем при наличии опции Component Information

Systems (CIS) официальные пользователи получают доступ через Интернет к расширенной базе данных, содержащей сведения примерно о 200 тыс. компонентов различных фирм (приведены их символы и корпусы).

Подготовка схем с помощью PSpice Shematics

Графический редактор PSpice Schematics пакета OrCAD 9.2, заимствованный из популярного в свое время пакета DesignLab, предназначен только для передачи данных в программы моделирования PSpice и параметрической оптимизации PSpice Optimizer. Если же необходимо разработать ПП, то созданную в PSpice Schematics схему необходимо импортировать в программу OrCAD Capture и затем составить список соединений проекта для дальнейшей передачи в OrCAD Layout.

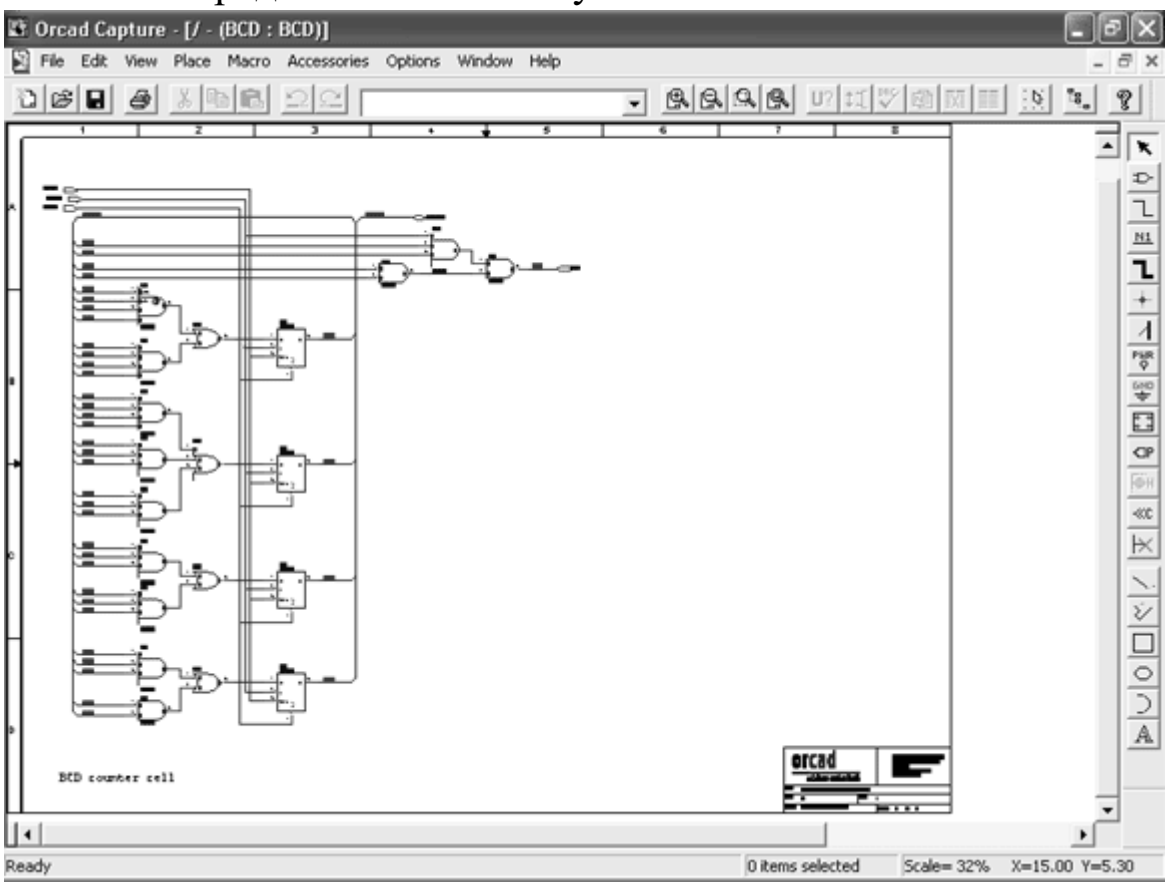


Рис. 58. Экран редактора PSpice Schematics в режиме редактирования схем

После загрузки графического редактора под управлением Windows выводится его основной экран (рисунок 64). В верхней

части экрана располагается горизонтальное меню, состав пунктов которого зависит от выбранного режима редактирования:

- редактирование принципиальных электрических схем;
- редактирование символов компонентов.

После загрузки программы устанавливается режим редактирования схем. На схему наносятся изображения символов компонентов, которые соединяются электрическими проводниками или пиниями групповой связи (шинами), а также имена цепей и текстовые надписи, редактируются и создаются вновь атрибуты компонентов. Схема может располагаться на одной или нескольких страницах, возможны иерархические структуры. Возможна проверка правильности составления схемы. Отыскиваются, конечно, лишь простейшие ошибки, например неподсоединенные выводы.

Моделирование с помощью PSpice

Задание на моделирование для программы PSpice заносится в текстовые файлы. Знание их форматов при графическом вводе схемы не обязательно, но желательно, так как:

- значительно облегчает поиск ошибок при отладке схемы;
- позволяет создавать шаблоны новых символов компонентов;
- позволяет составлять текстовые описания макромоделей (иногда это проще, чем рисовать их схемы замещения).

При графическом вводе схем как с помощью программы PSpice Schematics, так и с помощью OrCAD Capture, создаются три файла

задания с одним и тем же именем и различными расширениями имени: *.NET (таблица соединений), *.ALS (список подключения цепей к

выводам компонентов) и *.CIR (список директив моделирования). При моделировании в PSpice непосредственно загружается файл

*.CIR, в котором имеются ссылки на остальные файлы. Для его составления вручную на бумаге сначала рисуется принципиальная

схема моделируемого устройства и присваиваются имена всем ее узлам (при графическом вводе этого делать не обязательно).

Редактор топологии печатных плат OrCAD Layout

Наиболее естественный способ разработки печатной платы (ПП) состоит в создании ее схемы с помощью одного из графических редакторов, например OrCAD Capture, и создания списка соединений схемы в формате, приемлемом для OrCAD Layout.

Разработка новой ПП начинается после загрузки OrCAD Layout и выполнения команды File>New. Сначала запрашивается имя технологического шаблона ПП (расширение имени файла *.TCH или MPL). Затем — имя файла списка соединений *.MNL. В заключение указывается имя файла создаваемой ПП *.MAX.

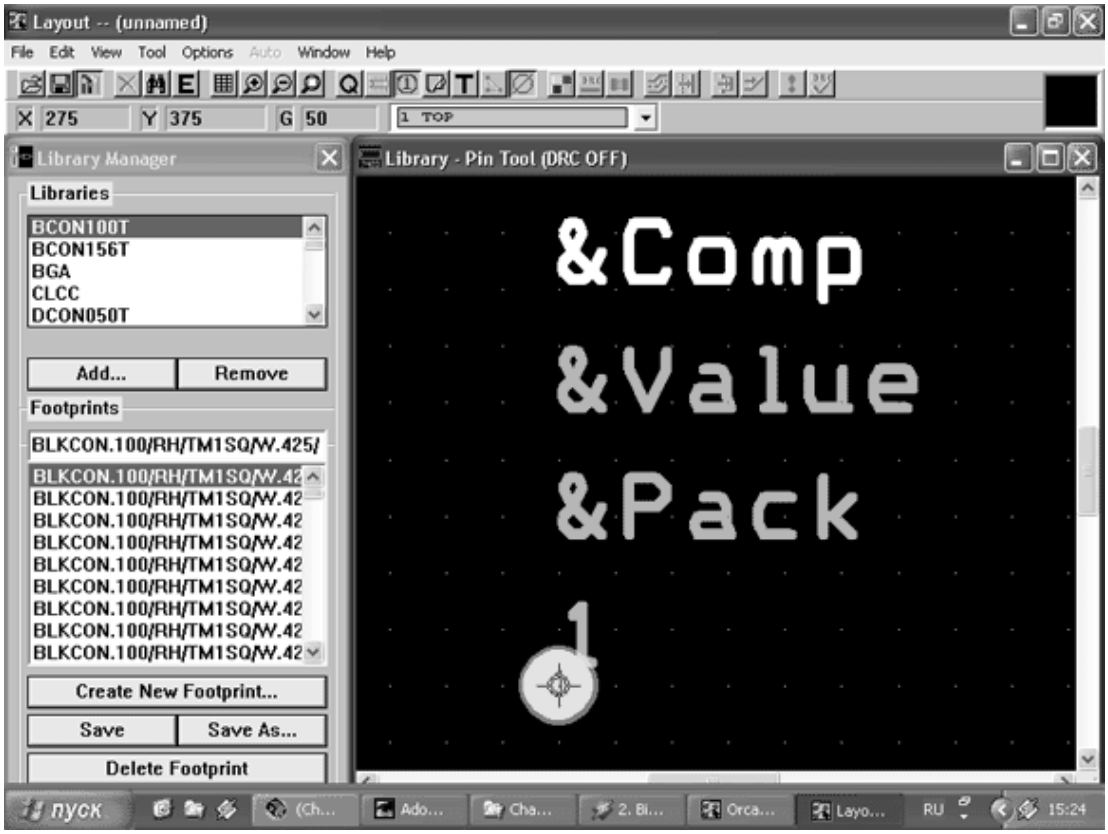


Рис. 59. Определение корпуса компонента

Далее выполняется автоматическое размещение компонентов на всей ПП. Авторазмещение выполняется за несколько проходов (до 11). Автотрассировка проводников выполняется трояко. Во-первых, OrCAD Layout содержит в меню Auto группу соответствующих команд достаточных для разработки простых ПП. Во-вторых, для разработки более сложных ПП предназначена отдельная программа SmartRoute, использующая алгоритмы оптимизации нейронных сетей, аналогичная программе Shape-Based Router пакета P-CAD

2000. В-третьих, в цепях размещения компонентов и трассировки проводников в ручном, интерактивном или автоматическом режиме можно использовать программу SPECCTRA, не входящую непосредственно в состав системы OrCAD (в OrCAD Layout имеются лишь средства трансляции файлов ПП).

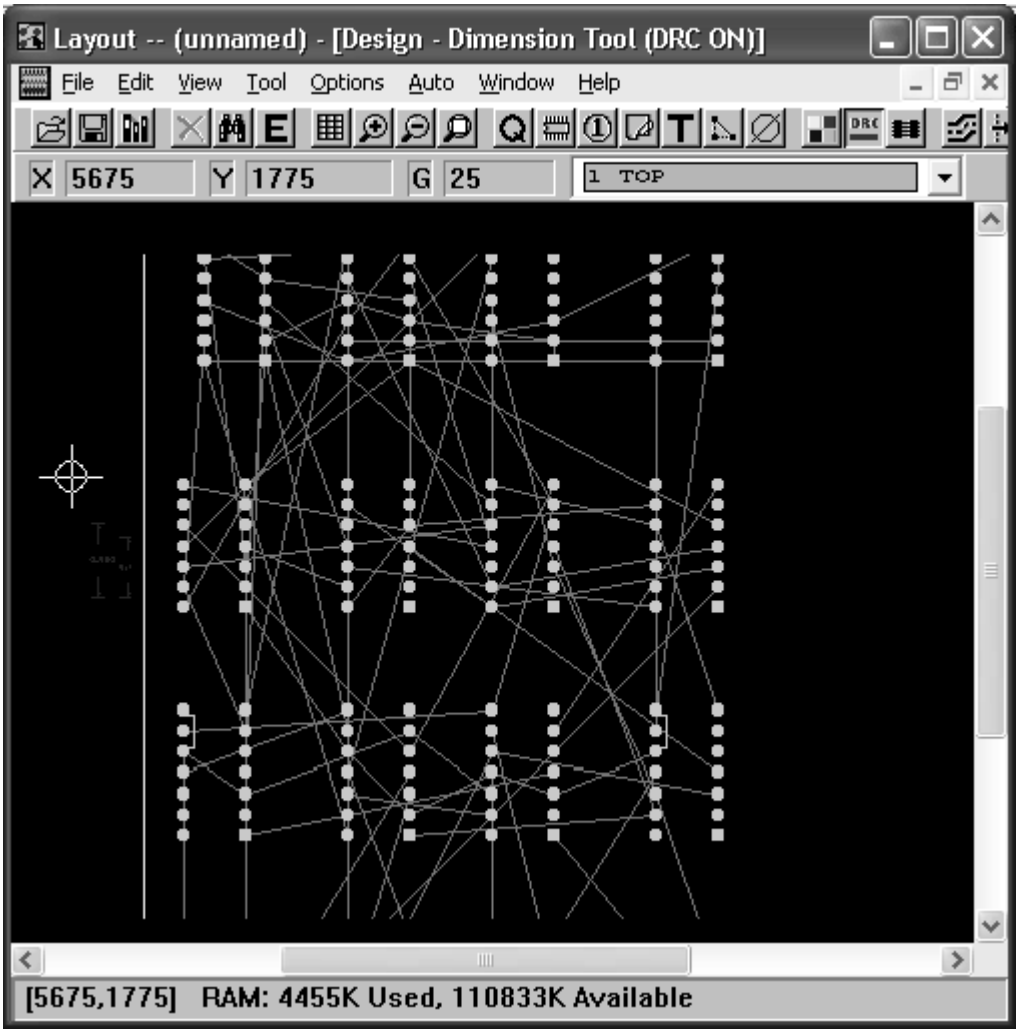


Рис. 60. Исходное задание на автотрассировку проводников

11.3. Общие сведения о системе автоматизированного проектирования электроники P-CAD

Система P-CAD предназначена для проектирования многослойных печатных плат (ПП) вычислительных и радиоэлектронных устройств. В состав P-CAD входят три основных модуля - P-CAD Schematic, P-CAD PCB, P-CAD Library Executive и ряд других вспомогательных программ (рисунок 67).

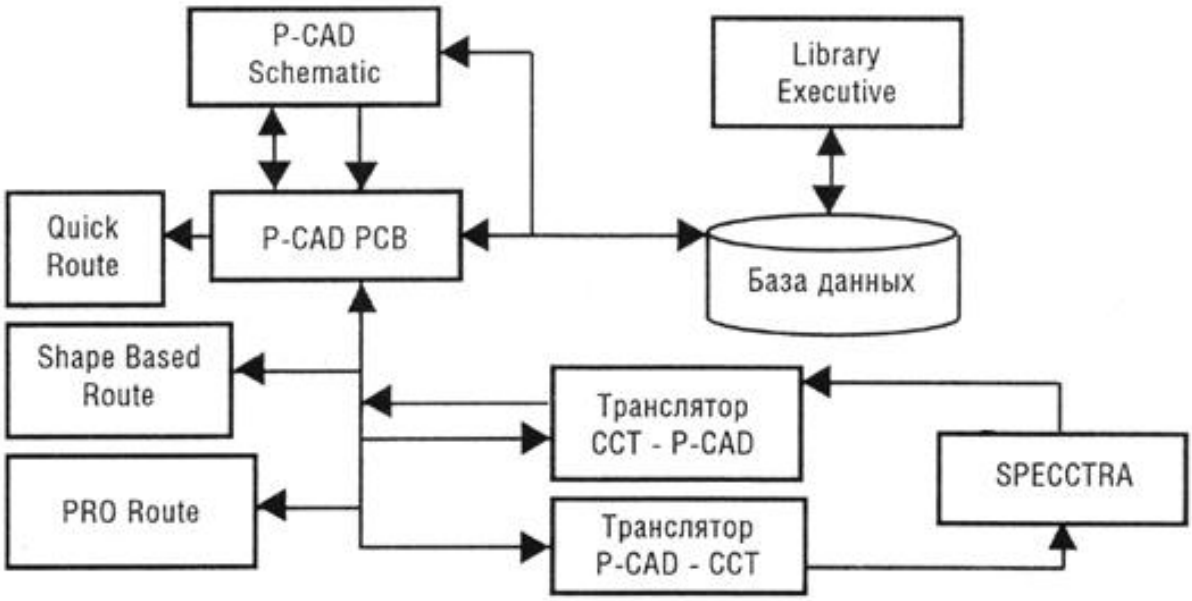


Рис. 61. Структура САПР P-CAD

Редакторы имеют системы всплывающих меню в стиле Windows, а наиболее часто применяемым командам назначены пиктограммы. В поставляемых вместе с системой библиотеках зарубежных цифровых ИМС имеются три варианта графики: Normal – нормальный в стандарте США. DeMorgan - обозначение логических функций. IEEE – в стандарте Института инженеров по электротехнике (наиболее близкий к российским стандартам). Редактор P-CAD PCB может запускаться автономно и позволяет разместить модули на выбранном монтажно-коммутационном поле и проводить ручную, полуавтоматическую и автоматическую трассировку проводников. Если P-CAD PCB вызывается из редактора P-CAD Schematic, то автоматически составляется список соединений схемы и на поле ПП переносятся изображения корпусов компонентов с указанием линий электрических соединений между их выводами. Эта операция называется упаковкой схемы на печатную плату. Затем вычерчивается контур ПП, на нем размещаются компоненты и, наконец, производится трассировка проводников. Применение шрифтов True Type позволяет использовать на схеме и ПП надписи на русском языке.

Автотрассировщики вызываются из управляющей оболочки P-CAD PCB, где и производится настройка стратегии трассировки.

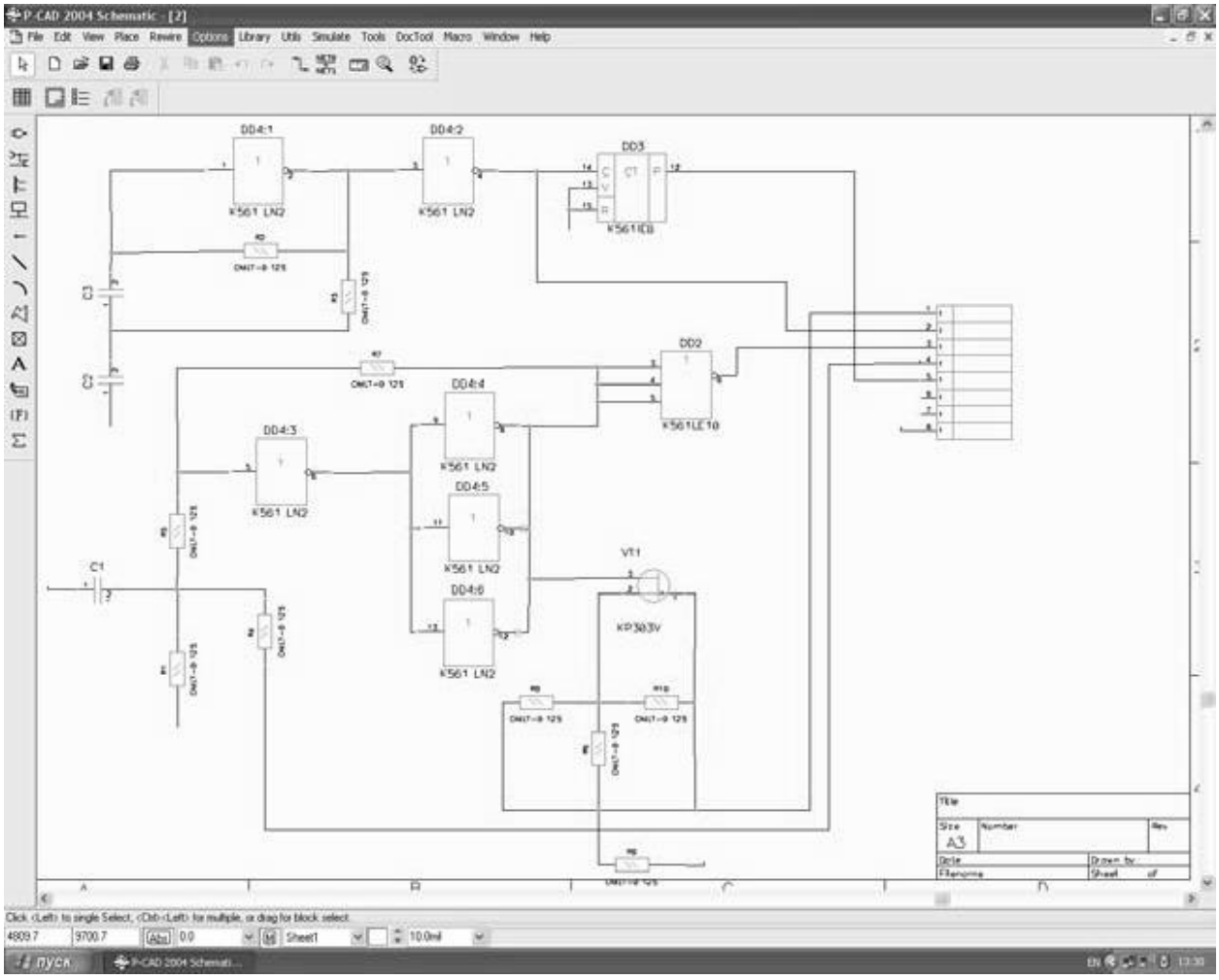


Рис. 62. Схема электрическая принципиальная, выполненная в редакторе Schematic системы P-CAD

Информацию об особенностях трассировки отдельных цепей можно с помощью стандартных атрибутов ввести на этапах создания принципиальной схемы или ПП. Первый трассировщик QuickRoute относится к трассировщикам лабиринтного типа и предназначен для трассировки простейших ПП. Второй автоматический трассировщик PRO Route трассирует ПП с числом сигнальных слоев до 32. Трассировщик Shape-Based Autorooter – бессеточная программа автотрассировки ПП. Программа предназначена для автоматической разводки многослойных печатных плат с высокой плотностью размещения элементов. Она эффективна при поверхностном монтаже корпусов элементов, выполненных в различных системах координат. Имеется возможность размещения проводников под различными

углами на разных слоях платы, оптимизации их длины и числа переходных отверстий.

Document Toolbox – дополнительная опция P-CAD PCB и P-CAD Schematic для размещения на чертежах схем или ПП различных диаграмм и таблиц, составления различных списков и отчетов, которые динамически обновляются, таблиц сверловки, данных о структуре платы, технологической и учетной информации, размещения на чертежах схем списков соединений. выводов подключения питания и другой текстовой информации. Программа предназначена для расширения возможностей выпуска технической документации без использования чертежных программ типа AutoCAD Document Toolbox позволяет автоматизировать создание конструкторской документации, необходимой для производства проектируемых ПП.

SPECCTRA – программа ручного. полуавтоматического и автоматического размещения компонентов и трассировки проводников. Трассирует ПП большой сложности с числом слоев до 256. В программе используется так называемая бессеточная Shape-Based технология трассировки. За счет этого повышается эффективность трассировки ПП с высокой плотностью размещения компонентов, а также обеспечивается трассировка одной и той же цепи трассами различной ширины. Программа SPECCTRA имеет модуль AutoPlace, предназначенный для автоматического размещения компонентов на ПП. Вызов программы производится автономно из среды Windows или из программы P-CAD PCB.

P-CAD Library Executive – менеджер библиотек. Интегрированные библиотеки P-CAD содержат как графическую информацию о символах и типовых корпусах компонентов, так и текстовую информацию (число секций в корпусе компонента, номера и имена выводов, коды логической эквивалентности выводов и т. д.). Программа имеет встроенные модули: Symbol Editor – для создания и редактирования символов компонентов и Pattern Editor – для создания и редактирования посадочного места и корпуса компонента. Упаковка вентилей компонента, ведение и контроль библиотек осуществляются модулем Library Executive. Модуль имеет средства

просмотра библиотечных файлов, поиска компонентов, символов и корпусов компонентов по всем возможным атрибутам.

Вспомогательные утилиты, образующие интерфейс DBX (Data Base Exchange), в частности, производят перенумерацию компонентов, создают отчеты в требуемом формате, автоматически создают компоненты, выводы которых расположены на окружности или образуют массив, рассчитывают паразитные параметры ПП и т.п.

Графический редактор печатных плат P-CAD PCB

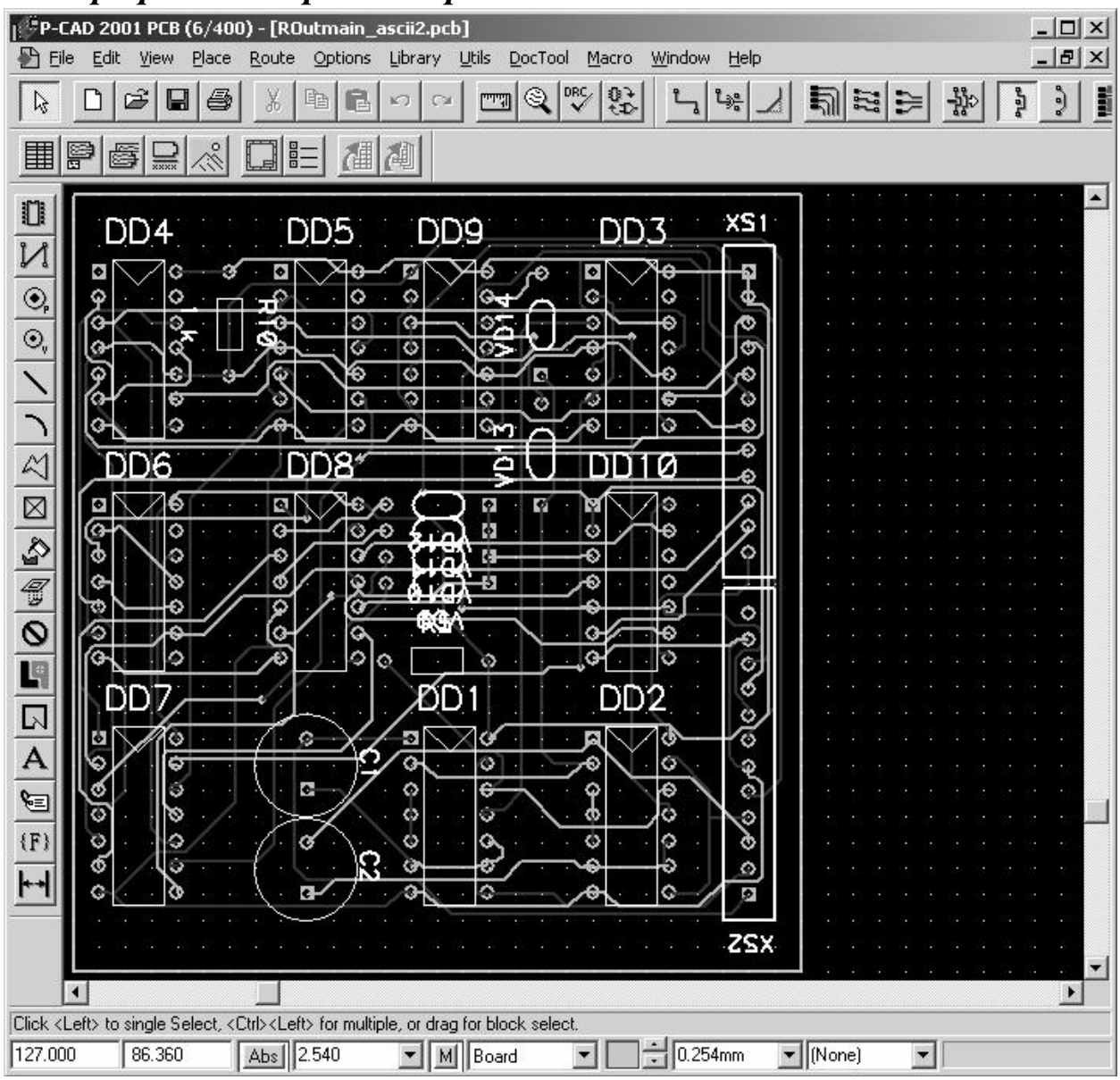


Рис. 63. Трассировка платы печатными проводниками в редакторе PCB системы P-CAD

Редактор печатных плат P-CAD PCB используется для

размещения компонентов на монтажно-коммутационном поле и для ручной, интерактивной или автоматической трассировки проводников. В интерактивном режиме курсором отмечается начало и конец сегмента проводника, который сразу же трассируется с учетом препятствий. При этом соблюдаются все ограничения на проведение трассы, установленные пользователем. Результаты работы редактора сохраняются в файле с расширением *.pcb

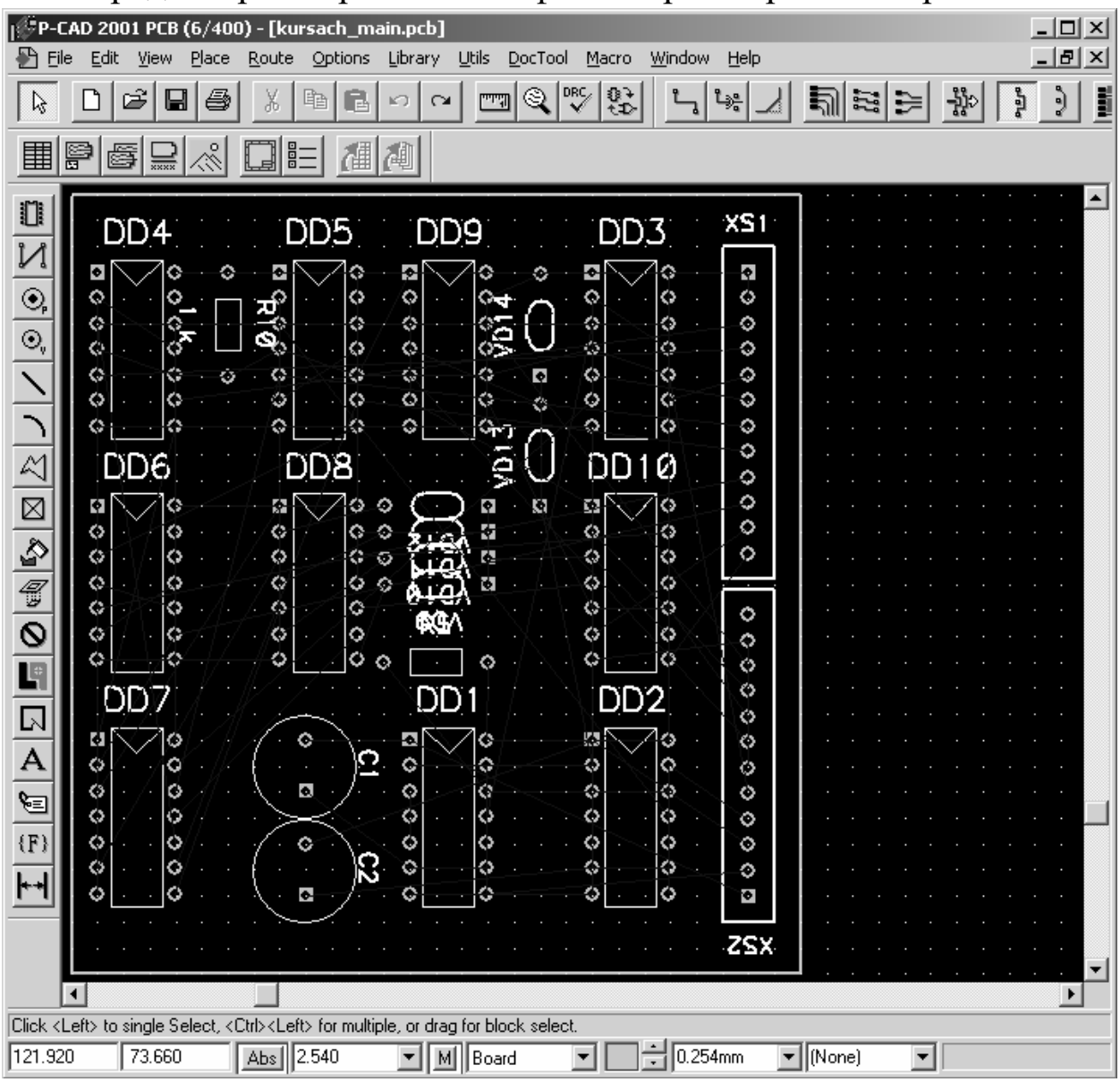


Рис. 64. Размещение элементов на печатной плате в редакторе PCB системы P-CAD - исходные данные для трассировки соединений

Программа автоматизации проектирования печатных плат SPECCTRA 9

SPECCTRA представляет собой программу автоматического и интерактивного размещения компонентов и трассировки проводников, основанную на так называемой Shape-Based или бессеточной технологии. Согласно ней все объекты ПП моделируются в виде совокупности геометрических фигур (прямоугольник, круг, дуга, трасса, полигон), которым приписаны определенные электрические и физические характеристики и правила проектирования. В отличие от привязанных к сеткам технологиям (Grid-Based), используемым, в частности, в P-CAD PRO Route, при бессеточной технологии каждый объект моделируется не набором узлов сетки, а геометрически точно, за счет чего достигается более плотный монтаж с меньшим числом слоев. Характерная особенность бессеточной технологии - меньшие затраты памяти. Другая особенность – поддержка сложных правил проектирования. Для каждого объекта, расположенного на определенном слое ПП или в определенной области или принадлежащему некоторому классу, можно задать ряд индивидуальных правил. Это означает, что при работе над сложным проектом не приходится прибегать к искусственным приемам при размещении компонентов и трассировке проводников. В интерактивном режиме разрешающая способность SPECCTRA составляет 0,01 мкм в метрической и 0,0001 мил в английской системе. Внутренняя точность представления данных еще выше. В связи с этим систему единиц можно заменять на любой фазе работы с проектом без потери точности.

Система SPECCTRA имеет два основных режима.

1 режим. Routing – трассировка проводников. Трассировка реализуется с помощью нескольких опций:

AR (AutoRoute) – основная опция трассировки в автоматическом, режиме, обеспечивающая:

- разрыв мешающих проводников (Rip-up) и их повторную разводку с применением раздвигания и проталкивания проводников (Push and Shove);

- трассировку с применением и без применения сеток размещения ПО и прокладки проводников;

- улучшение технологичности изготовления ПП;

- сглаживание прямоугольных изгибов проводников по диагонали;

- трассировку на основании набора иерархических правил.

В состав AR входят две дополнительные опции, обеспечивающие ручное редактирование в среде SPECCTRA (в ее отсутствие для выполнения этих операций нужно возвращаться в OrCAD Layout):

1) ER (EditRoute) – редактирование расположения трасс проводников в ручном режиме:

- Plowing – перемещение одного или нескольких проводников при сдвиге ПО;

- Shoving – раздвигание одним проводником нескольких других;

- Ghosting – оценка возможных результатов перемещения проводников или ПО. При перемещении курсором сегмента проводника или ПО окружающие проводники динамически раздвигаются, можно просмотреть несколько вариантов и выбрать лучший. Неограниченная возможность отката назад позволяет вернуться к приемлемому варианту;

- Via search – изображение разрешенных точек расположения ПО;

- Critic – удаление лишних точек излома проводников.

При трассировке проводников проводится текущий контроль соблюдения допустимых зазоров между проводниками и другими объектами.

EP (EditPlace) – размещение компонентов. Выполняется размещение, сдвиг, поворот, выравнивание и перестановка компонентов, перенос их на противоположную сторону ПП. При перемещении компонента он может сдвигать мешающий ему один или несколько компонентов. Можно выбрать компонент с наибольшим числом связей и предложить наилучшее место его размещения. Изображается гистограмма плотностей связей. При размещении компонентов контролируется соблюдение допустимых зазоров между ними.

В состав AR входят также несколько дополнительных утилит:

AD (бывшая ADV, Advanced) – расширение возможностей

настройки стратегии трассировки сложных ПП – разрешение проводить на определенных сигнальных слоях индивидуальные цепи, классы цепей и группы, задание разных значений ширины трассы и зазоров на разных слоях трассировки, назначение правил трассировки отдельных цепей и классов цепей, назначение ПО отдельным цепям и классам цепей, назначение ширины проводников и зазоров; она включает группу команд HYB (Hybrid) – поддержка технологии межслойных ПО, размещение ПО под выводами планарных компонентов, монтаж гибкими проводниками и перемычками;

DF (бывшая DFM, Design for Manufacturability) – повышение технологичности проекта — автоматическая генерация контрольных точек для всех или выделенных цепей, увеличение зазоров при наличии свободного пространства.

MV (RouteMicroVia) – новая утилита для размещения миниатюрных глухих ПО друг под другом.

HP (HighPerformance, бывшая FST, Fast Circuit) – учет особенностей проектирования высокочастотных устройств – контроль максимальной длины параллельных проводников, расположенных на одном и том же или на смежных слоях для уменьшения перекрестных искажений, контроль задержек распространения сигналов, разводка дифференциальных (симметричных) проводников, сглаживание прямых углов дугами, специальные правила трассировки для выделенных областей, введение экранирующих цепей. Имеется дополнительная опция EH (EditHighPerformance, бывшая EditFST) – выполнение команд интерактивного редактирования трасс проводников, специфических для высокочастотных устройств, в частности, для трассировки цепей с учетом ограничений на время распространения сигналов:

- вывод на экран подробной информации о длине проводников с контролем ограничения на их минимальную и максимальную длину. При измерении расстояний к длине проложенной части проводника прибавляется расстояние по Манхеттену до конечной точки;

- высвечивание зеленым цветом области вокруг текущего положения курсора, в которой удовлетворяются ограничения на время распространение сигналов. При превышении минимального

времени цвет области изменяется на красный.

2 режим. Placement – размещение компонентов. Реализуется с помощью опции AP (AutoPlace) – автоматическое размещение компонентов на одной или двух сторонах ПП. В своем составе она содержит утилиту EP (EditPlace) – интерактивное размещение компонентов. Выполняется размещение, сдвиг, поворот, выравнивание и перестановка компонентов, перенос их на противоположную сторону ПП. При перемещении компонента он может сдвигать мешающий ему один или несколько других. Можно выбрать компонент с наибольшим числом связей и предложить наилучшее место его размещения. Изображается гистограмма плотностей связей. При размещении компонентов контролируется соблюдение допустимых зазоров между ними.

Возможны разные варианты P-CAD лицензий для разработки двухслойных ПП без ограничения количества компонентов, четырехслойных ПП с количеством компонентов не более 4000 и 256-слойных ПП без ограничения количества компонентов (при ограничении количества слоев имеются в виду сигнальные слои, количество слоев металлизации не ограничивается).

11.4. Общие сведения об автоматизированной системе инженерных расчетов ANSYS

ANSYS – программный пакет конечноэлементного анализа (использует метод конечных элементов МКЭ), решающий задачи в различных областях инженерной деятельности (прочность конструкций, термодинамика, динамика жидкостей и газов, электромагнетизм), включая связанный междисциплинарный анализ.

Данный программный пакет был разработан компанией ANSYS Inc., и позволяет решать в единой пользовательской среде (и, что очень важно, на одной и той же конечноэлементной модели) широкий круг задач в областях:

- прочности;
- тепла;
- гидрогазодинамики;

- электромагнетизма;

- междисциплинарного связанного анализа, объединяющего все четыре типа;

- контактные задачи;

- оптимизации конструкции на основе всех вышеприведенных типов анализа.

ANSYS обеспечивает двустороннюю связь практически со всеми известными CAD-системами. Это достигается за счет двустороннего обмена геометрией с наиболее популярными пакетами и импорта множества стандартных форматов.

Также существуют встраиваемые в CAD-системы расчетные модули ANSYS, позволяющие реализовать преимущества технологии "сквозного проектирования".

Программный комплекс ANSYS представляет собой многоцелевой пакет для решения сложных проблем физики и механики. Многоцелевая направленность программы (т. е. возможность оценки воздействий различной физической природы на исследуемое состояние конструкции, например, на ее прочность) позволяет использовать одну и ту же модель для решения таких связанных задач, как прочность при тепловом нагружении, влияние магнитных полей на прочность конструкции, тепломассоперенос в электромагнитом поле и др.

Первая реализация программы значительно отличалась от последних ее версий и касалась только решения задач теплопередачи и прочности в линейной постановке. Как и большинство других программ того времени, она работала в пакетном режиме и лишь на «больших» машинах. В начале 70-х годов прошлого века в программу было внесено много изменений в связи с внедрением новых вычислительных технологий. Были добавлены нелинейности различной природы, появилась возможность использовать метод подконструкций, была расширена библиотека конечных элементов.

В конце 70-х годов существенным дополнением к программе ANSYS явился интерактивный режим работы. Это значительно упростило процедуры создания конечно-элементной модели и оценку результатов (пре- и постпроцессорная обработка). Стало возможным

использовать интерактивную графику для проверки геометрии модели, заданных свойств материала и граничных условий перед началом счета. Графическая информация могла быть сразу же выведена на экран для интерактивного контроля результатов решения.

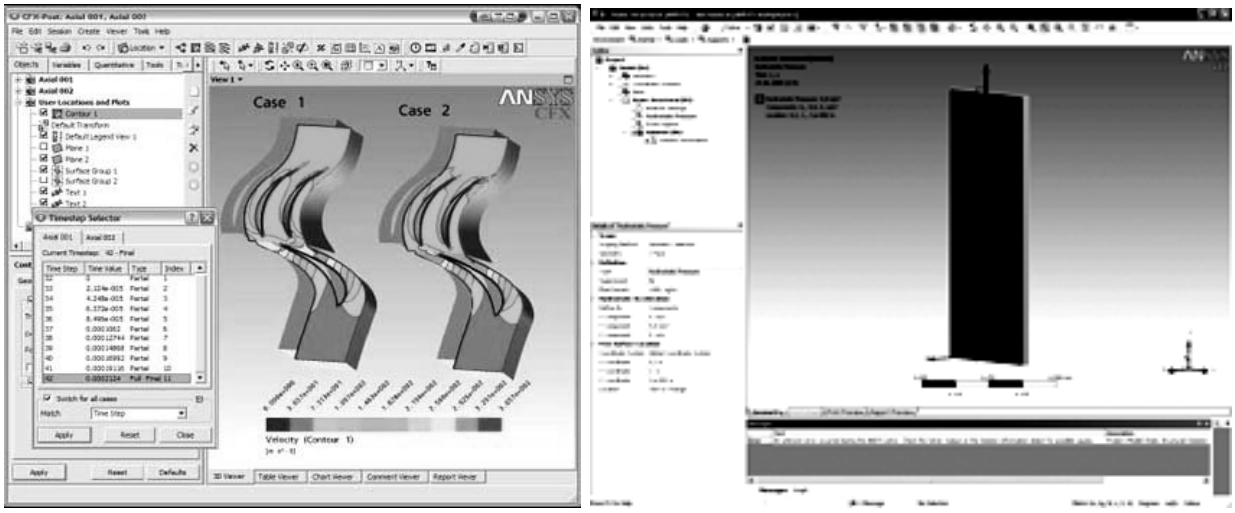


Рис. 65. Интерфейс программного комплекса ANSYS

Программа располагает широким перечнем расчетных средств, которые могут учесть разнообразные конструктивные нелинейности; дают возможность решить самый общий *случай* контактной задачи для поверхностей; допускают наличие больших (конечных) деформаций и углов поворота; позволяют выполнить интерактивную оптимизацию и анализ влияния электромагнитных полей, получить решение задач гидроаэродинамики и многое другое - вместе с параметрическим моделированием, адаптивным перестроением сетки и обшнрными возможностями создания макрокоманд с помощью языка параметрического программирования (APDL). Система меню обеспечивает ввод данных и выбор действий программы с помощью диалоговых панелей, выпадающих меню и окон.

Средства твердотельного моделирования включают в себя представление геометрии конструкции, основанное на использовании сплайновой технологии, геометрических примитивов и операций булевой алгебры.

Многоцелевые функции комплекса ANSYS обеспечиваются наличием в нем многочисленного семейства отдельных

специализированных программ, имеющих много общих функций, однако математическое обеспечение которых рассчитано на решение отдельных классов задач. Перечислим некоторые из этих программ:

ANSYS/Mutiphysics – программа для широкого круга инженерных дисциплин, которая позволяет проводить расчеты в области прочности, распространения тепла, механики, жидкостей и газов, электромагнетизма, а также решать связанные задачи.

ANSYS/Mechanical – программа для выполнения проектных разработок, анализа и оптимизации: решение сложных задач прочности конструкций, теплопередачи и акустики. Эта программа позволяет определять перемещения, напряжения, усилия, температуру давления и другие параметры, важные для оценки механического поведения материалов и прочности конструкции. Данная программа является подмножеством *ANSYS Mutiphysics. ANSYS/Structural* – выполняет сложный прочностной анализ конструкций с учетом разнообразных нелинейностей, среди которых геометрическая н физическая нелинейности, нелинейное поведение конечных элементов и потеря устойчивости. Используется для точного моделирования поведения больших и сложных расчетных моделей. Данная программа является подмножеством *ANSYS/Mechanical.*

ANSYS/Thermal – это отдельная программа, выделенная из пакета *ANSYS/Mechanical, для* решения тепловых стационарных н нестационарных задач.

ANSYS/LS-DYNA - программа, предназначенная для решения прочностных задач динамики при больших нелинейностях. Эта программа может использоваться для численного моделирования процессов формообразования материалов, анализа аварийных столкновений и ударов при конечных деформациях, включая пробивание, нелинейное поведение материала и контактное взаимодействие элементов конструкции.

ANSYS/Emag - статический и низкочастотный электромагнитный анализ (типичные задачи: трансформатор, двигатель, пускатель), высокочастотный электромагнитный анализ (типичные задачи: микроволновые и высокочастотные пассивные компоненты,

волноводы, коаксиальные коннекторы), электростатический анализ (типичные задачи: высоковольтные устройства, линии электропередач, микро-электромеханические системы - MEMS);

ANSYS/Flotran - стационарные и нестационарные задачи механики жидкостей и газов и термический анализ;

ANSYS/ED - представляет собой программу, обладающую возможностями *ANSYS/Mutiphysics,* но имеющую ограничения по размерам расчетной модели. Эта программа предназначена, в основном, для учебных целей.

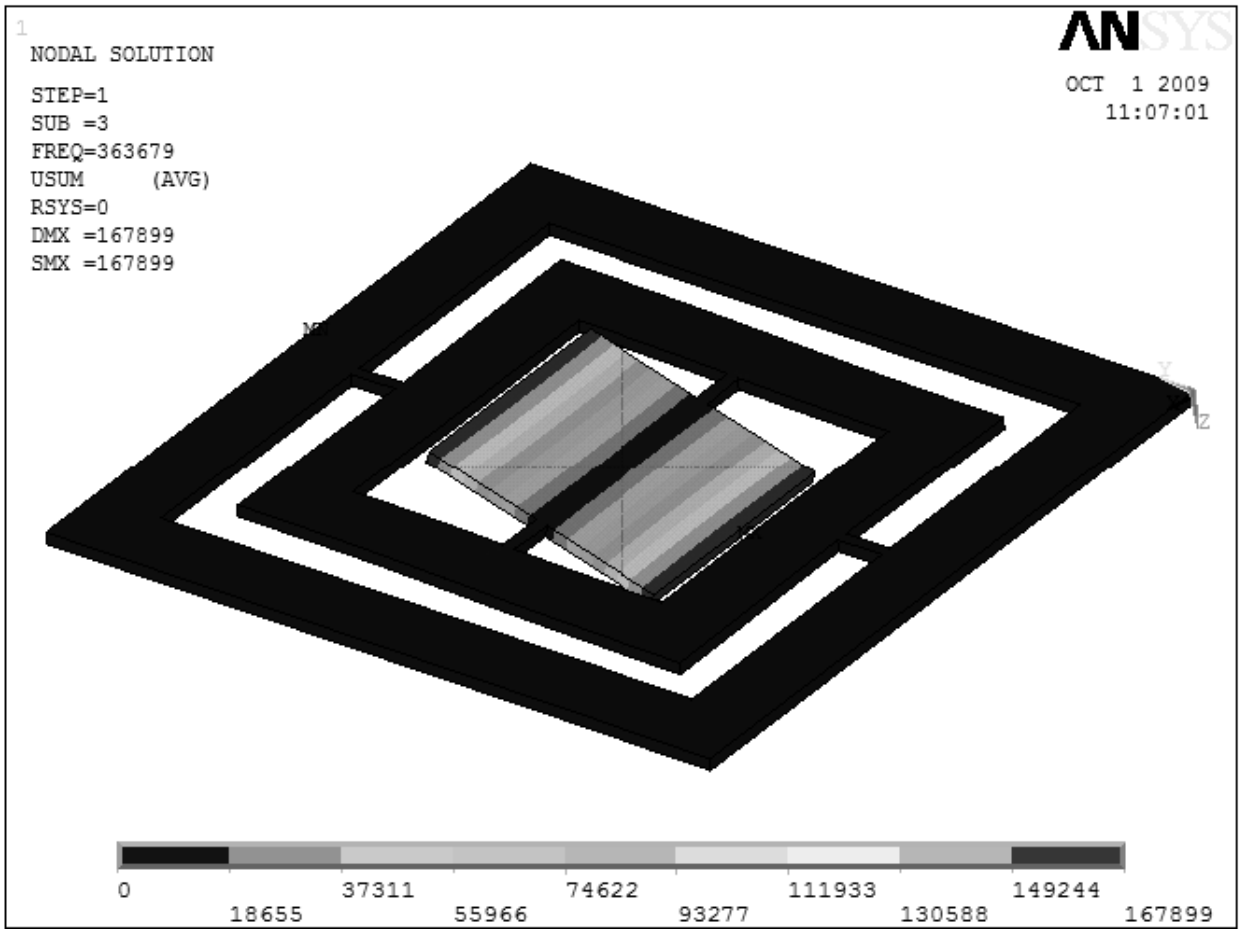


Рис. 66. Пример модального анализа (поиска собственных частот) конструкции

11.5. Программный комплекс Pro/ENGINEER для сквозного параллельного проектирования и подготовки производства

Интегрированный программный комплекс для проектирования и подготовки производства Pro/ENGINEER американской компании

PTC реализует комплексный подход к решению задач разработки и подготовки изделия к выпуску, обеспечивая сквозной цикл "проектирование-производство". Переход к методам сквозного параллельного проектирования и подготовки производства позволяет существенно сократить сроки конструкторского и технологического проектирования, повысить качество выпускаемых изделий и получить возможность быстрого освоения новой, востребованной рынком продукции. Программный комплекс позволяет решать следующие задачи:

Проектирование дизайна изделий

Концептуального проектирование при помощи модуля Pro/CONCEPT

- разработка дизайна с помощью инструментов, сходных инструментам художника и скульптора (карандаши, кисти, краски, добавление и удаление материала и т.п.);
- удобный инструментарий для редактирования кривых и поверхностей;
- интеграция инструментов рисования и моделирования позволяет прорабатывать большое количество вариантов;
- функция воссоздания трехмерного изображения по фотографии или рисунку;
- импорт/экспорт трехмерной геометрии (например, с трехмерных сканеров или КИМ, а также из/в другие САПР);
- поддержка работы с графическими планшетами и т.д.

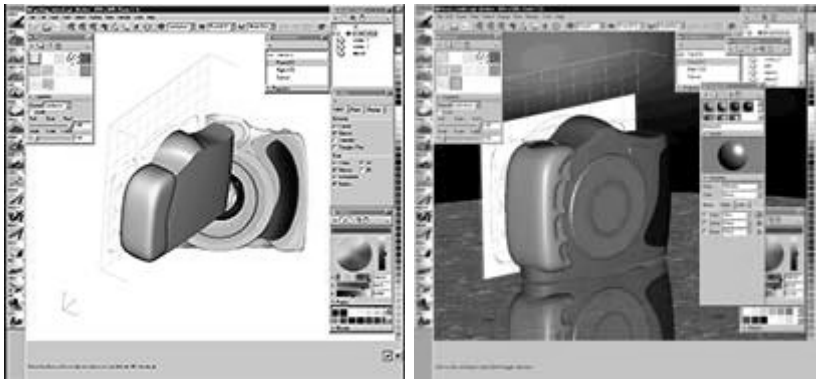


Рис. 67. Интерфейс модуля Pro/CONCEPT

Создание фотореалистичных изображений при помощи модуля Pro/ENGINEER Advanced Rendering

Обеспечивает расширенные возможности по созданию фотореалистичных изображений с использованием:

- библиотеки текстур (более 200 материалов);
- поддержки любых источников света (включая реалистичные отражения и тени для солнечного света в конкретное время суток);
- механизма объемного рассеивания света и «светорассеивания в объективе», имитации вспышки, тумана, задымленности и т.д.

Рис. 68. Интерфейс модуля Pro/ENGINEER Advanced Rendering

Конструкторское проектирование

Модули Pro/ENGINEER для конструкторской подготовки производства предоставляют инженерам-конструкторам широкие возможности:

- для создания электронных трехмерных моделей деталей и сборок;
- для рабочей документации в соответствии с ЕСКД;
- для анализа и оптимизации размерных цепей;
- для оптимизации геометрии;
- для проверки работоспособности механизмов.

Это строгая, логичная, простая в обращении система. Средства нисходящего и восходящего проектирования и управления сборки помогают конструктору действовать интуитивно и творчески.

Модули располагают большим набором инструментов для построения трехмерных твердотельных и поверхностных моделей любой сложности и любой геометрии, а также для эффективного управления ими.

Модули позволяют проектировать и управлять крупными

сложными сборочными единицами, состоящими практически из неограниченного числа компонентов.

Возможность проверки работоспособности механизма (за счет наложения связей между компонентами, задания перемещений, скоростей и ускорений звеньев механизма, проверки рабочих зон, контроля над пересечением отдельных деталей, расчета массовых характеристик и т.д.) гарантирует правильность сборки с первого раза.

Возможность анализа поведения конструкции (в зависимости от внешних и внутренних параметров) и ее оптимизации обеспечивает создание конкурентоспособной продукции.

Конструкторское проектирование осуществляется средствами базового модуля Pro/ENGINEER Foundation XE, а также модулей, расширяющих его возможности и позволяющих решать специфические конструкторские задачи. Эти модули являются дополнением к Pro/ENGINEER Foundation XE и работают в обязательном «тандеме» с ним.

Трехмерное твердотельное и поверхностное моделирование деталей и конструкций при помощи модуля Pro/ENGINEER Foundation XE

Модуль Foundation XE (его прежнее название - Foundation Advantage Package) является основным (базовым) модулем программного комплекса Pro/ENGINEER и имеет следующие возможности и характерные особенности:

- параметрическое проектирование методами восходящего и нисходящего проектирования трехмерных твердотельных и поверхностных моделей деталей и конструкций любой сложности, в том числе механизмов (с заданием кинематических связей), деталей из листовых материалов, а также сварных конструкций;

- простой и наглядный механизм проектирования;

- разработка и использование полного и ассоциативно связанного с трехмерной моделью комплекта как обычной конструкторской документации - рабочие чертежи, спецификации, ведомости, отчеты в полном соответствии с ЕСКД, так и интерактивной электронной, соответствующей современным

требованиям;

- анализ моделей и документации на корректность и на соответствие стандартам предприятия по их созданию и оформлению;

- автоматический расчёт массово-инерционных характеристик моделей, измерение расстояний, углов, толщин, уклонов, объемных параметров, проверка зазоров и пересечений и т.п.;

- создание таблично-управляемых семейств сборочных узлов и деталей;

- создание упрощенных представлений конструкций для более экономичного использования ресурсов и увеличения производительности компьютера;

- создание фотореалистичных изображений спроектированных изделий (с наложением текстур, заданием источников освещения, с использованием сцен просмотра и т.п.), видеороликов, интерактивных руководств по ремонту и эксплуатации изделий;

- программирование в среде Pro/ENGINEER, использование приложений Java;

- интерфейсы для обмена данными с другими системами CAD/CAM/CAE, средства «лечения» импортированной геометрии;

- библиотеки стандартных изделий, инструментов, символов, форматов, шаблонов в соответствии с ЕСКД и ЕСТД, ANSI, ISO, библиотеки текстур, фитингов и т.п., а также многие другие возможности.

Рис. 69. Интерфейс модуля Pro/ENGINEER Foundation XE

Проектирование разводок трубопроводов и электрических

кабелей при помощи модуля Pro/ENGINEER Piping and Cabling Extension

- интуитивно понятные команды трассировки и редактирования;
- проверка на пересечения и столкновения, обеспечение необходимых зазоров, оценка массовых характеристик;
- обширные библиотеки различных типов труб, фитингов и другой трубопроводной арматуры;
- возможность создания баз данных для проектирования трубопроводов под имеющуюся производственную базу и т.д.;
- автоматическая трехмерная трассировка кабелей;
- автоматическое изменение положения соединителей без повторной трассировки при изменении расположения компонентов;
- автоматическое проектирование двухмерной раскладки жгутов на основе трехмерной модели;
- логическая увязка схемных данных с пространственной моделью;
- автоматическая генерация таблиц соединений;
- подробное изображение жгутов на чертеже с простановкой размеров, примечаний, обозначений и табличных данных и т.д.

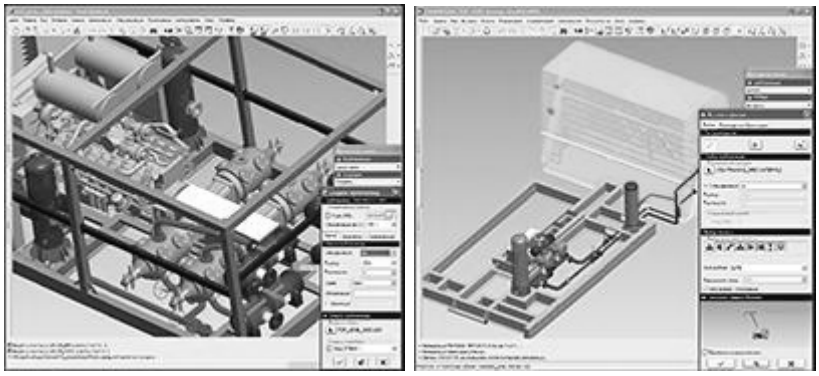


Рис. 70. Интерфейс модуля Pro/ENGINEER Piping and Cabling Extension

Проектирование чертежей, схем и диаграмм при помощи модуля Pro/ENGINEER Routed Systems Designer

- проектирование разнообразных принципиальных электрических схем, блок-схем, схем соединений, пневматических и гидравлических схем, схем техпроцессов и измерений, диаграмм;
- использование стандарта XML позволяет создавать логические

связи между двухмерными схемами и трехмерными моделями разводок труб и кабелей, созданных в модуле Piping & Cabling Extention;

- включает в себя обширную библиотеку типовых и стандартизированных элементов;

- используется без Pro/ENGINEER Foundation XE.

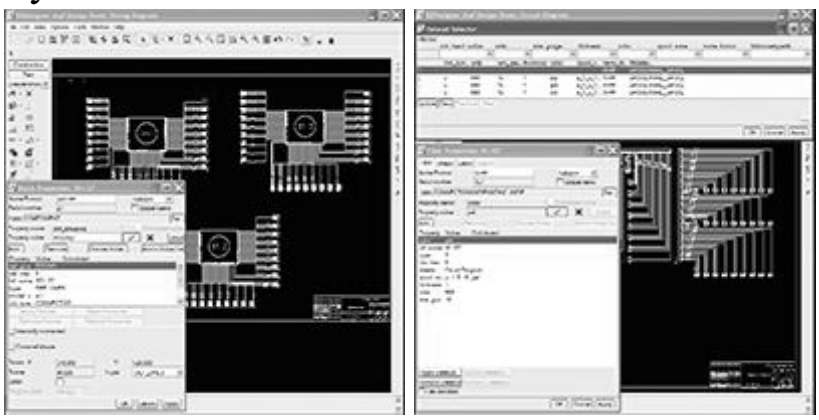


Рис. 71. Интерфейс модуля Pro/ENGINEER Routed Systems Designer

Проведение инженерного анализа функциональности конструкций и проверка качества и надежности будущего изделия на стадии его разработки

Чтобы выпустить на рынок конкурентоспособное изделие, необходимо придать ему высокие потребительские качества. Для этого, прежде всего, необходимо оценить, как поведет себя будущее изделие в реальных условиях эксплуатации. Проводить испытания на его прототипе – трудоемкое, дорогое и требующее много времени занятие.

Убедиться в работоспособности изделия, проверить его прочностные характеристики, оценить реакцию на внешние воздействия и рассчитать долговечность, не прибегая к большим затратам времени и средств, позволит использование предлагаемого набора программных модулей для проведения инженерного анализа. Ценность компьютерного «испытания» изделия заключается и в том, что оно позволяет оперативно вносить изменения в его конструкцию еще на этапе конструкторской разработки.

Аналитические модули имеют свои средства для построения моделей, могут напрямую (без трансляции) использовать модели из

Pro/ENGINEER или импортировать модели из других систем САПР.

Анализ конструкций на прочность и тепловые расчеты при помощи модуля Pro/ENGINEER Mechanica

Комплексное исследование и оптимизация термомеханических характеристик изделий:

- расчет устойчивости, коэффициента запаса устойчивости и критической нагрузки;
- статический анализ напряженно-деформированных состояний под воздействием различных типов нагрузок, учет контактных взаимодействий;
- модальный анализ конструкций, полностью закрепленных или обладающих степенями свободы, определение собственных частот и форм колебаний;
- комплексный анализ конструкции, в котором результаты теплового анализа используются как нагрузки для прочностного анализа;
- моделирование установившихся тепловых состояний конструкции при различных тепловых нагрузках и граничных условиях;
- целевая оптимизация конструкции, оценка возможности существования конструкции с заданными параметрами и т.д.

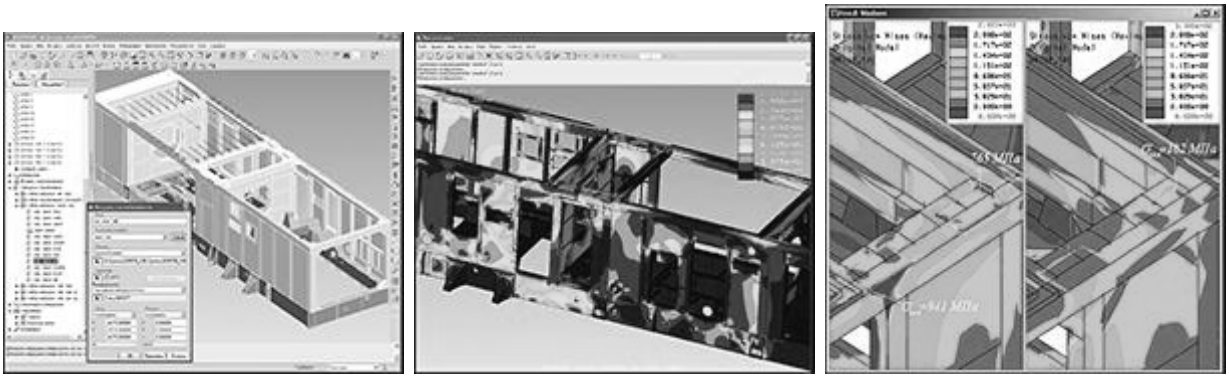


Рис. 72. Интерфейс модуля Pro/ENGINEER Mechanica

Комплексный анализ конструкций на прочность и тепловые расчеты при помощи модуля Pro/ENGINEER Advanced Mechanica

Включает в себя все возможности модуля Pro/ENGINEER Mechanica и предоставляет следующие возможности:

- статический анализ напряженно-деформированных состояний

конструкции с учетом больших деформаций (геометрическая нелинейность);

- предварительно напряженный статический и модальный анализы;

- анализ динамики временных и частотных характеристик;

- анализ динамики случайных процессов;

- моделирование переходных тепловых процессов в конструкции под воздействием изменяющихся тепловых нагрузок и т.д.

Модуль может использоваться как совместно с Pro/ENGINEER, так и отдельно.

Рис. 73. Интерфейс модуля Pro/ENGINEER Advanced Mechanica

Анализ динамики механизмов при помощи модуля Pro/ENGINEER Mechanism Dynamics

Моделирование движения механизмов в условиях, приближенных к реальным, оценка и оптимизация кинематических и динамических параметров механической системы.

- задание различных типов соединений между деталями, охватывающих основные виды реальных взаимодействий деталей и узлов механизмов: жесткие (например, сварка) штифтовые, шарнирные, подшипниковые, кулачковые, зубчатые и др.;

- учет упругих и демпфирующих элементов механизма, сил тяжести и трения;

- статический, динамический и кинематический анализы.

Представление результатов в разнообразных форматах: анимация движения с векторным представлением кинематических и силовых критериев (скоростей, ускорений, активных сил, реакций в

соединениях), построение траекторий движения в различных системах отсчета, всевозможные графики и т.д.

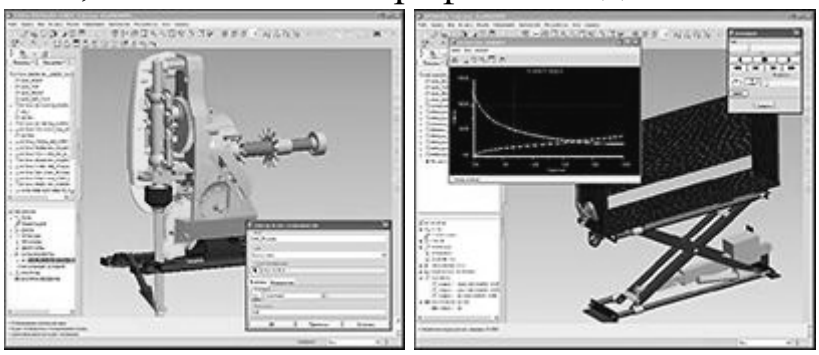


Рис. 74. Интерфейс модуля Pro/ENGINEER Mechanism Dynamics

Задачи технологического проектирования и модули Pro/ENGINEER для их решения

Использование в Pro/ENGINEER единой информационной модели изделия дает возможность инженерам-технологам начать проектирование оснастки и управляющих программ для оборудования с ЧПУ, не дожидаясь окончательного завершения этапа конструкторской разработки. Например, конструкторы еще не закончили работу над проектированием конструкции, а технологи уже работают над разработкой техпроцессов изготовления составляющих ее деталей, при необходимости поправляя возможные ошибки конструкторов. Это значительно сокращает время и средства, затрачиваемые на проектное и технологическое проектирование, и позволяет оптимально использовать коллективный опыт.

Набор модулей для технологической подготовки производства предназначен для проектирования оснастки (штампов, пресс-форм), разработки управляющих программ (УП) для металлорежущего, штампового и электроэрозионного оборудования с ЧПУ.

Технологические модули являются дополнением к Pro/ENGINEER Foundation XE и работают в обязательном «тандеме» с ним.

Проектирование пресс-форм, литейных форм и вытяжных штампов при помощи модуля Pro/ENGINEER Tool Design

Pro/ENGINEER Tool Design предназаначен для разработки пресс-форм для литья пластмасс, литейных форм для литья металлов

и вытяжных штампов и позволяет проводить:

- проектирование одноместных и многоместных пресс-форм;
- автоматическое размещение модели в заготовке;
- анализ и редактирование литейных уклонов и поднутрений;
- учет коэффициента усадки материала;
- автоматическое определение поверхности разъёма и объёмов матрицы, пуансона, стержней, вставок;
- автоматизированное создание формообразующих поверхностей пресс-формы на основе модели изделия;
- автоматическое создание специфических элементов для литейных форм: песчаных стержней, выпоров, прибылей и т.д.

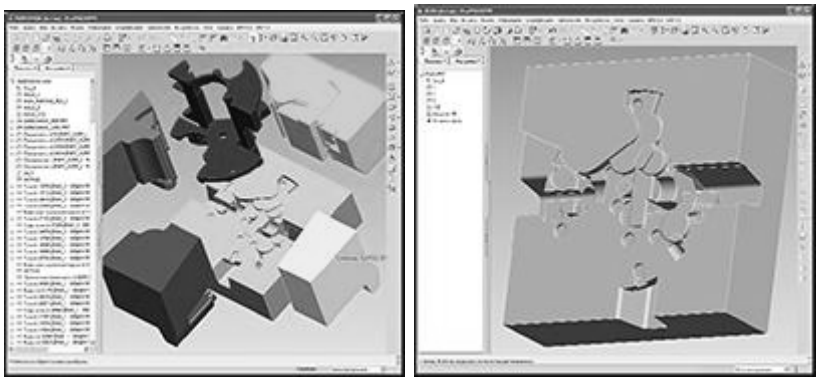


Рис. 75. Интерфейс модуля Pro/ENGINEER Tool Design

Проектирование пресс-форм для литья под давлением при помощи модуля Pro/ENGINEER Expert Moldbase

Специализированный модуль для проектирования пресс-форм для литья пластмасс характеризующийся:

- минимальными сроки проектирования благодаря тому, что конструктор создает пресс-форму из готовых адаптивных компонентов-«кубиков», для которых уже созданы шаблоны чертежей;
- наличием специализированного графического интерфейса со схематичным двухмерным отображением готовых конструкций модельных блоков и отдельных компонентов;
- имеет библиотеки адаптированных детализированных комплектов плит и их элементов от всех ведущих поставщиков;
- производит автоматическую генерацию чертёжей и спецификаций в соответствии с требованиями ЕСКД;

- производит расчет стоимости пресс-формы;

- отличается быстрым освоение модуля, интерактивным справочным руководством с анимационными роликами и т.д.

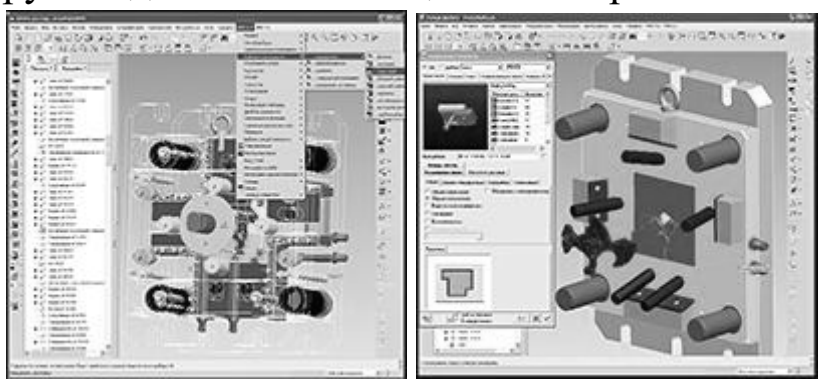


Рис. 76. Интерфейс модуля Pro/ENGINEER Expert Moldbase

Анализ технологичности пресс-форм для литья пластмасс при помощи модуля Pro/ENGINEER Plastic Advisor

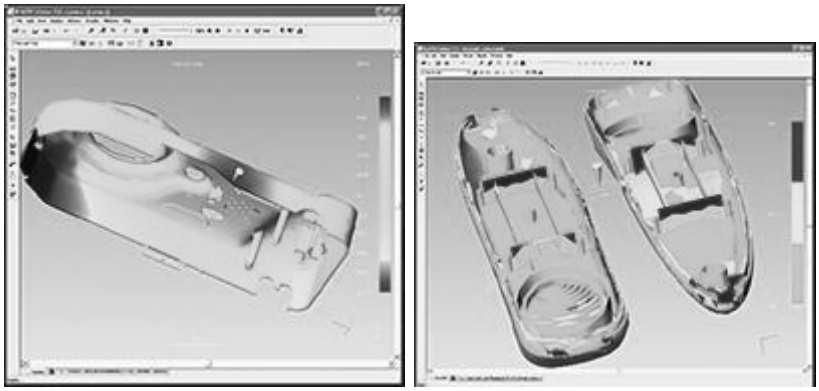


Рис. 77. Интерфейс модуля Pro/ENGINEER Plastic Advisor

Осуществляется динамическая имитация процесса заливки пресс-формы и анализ ее технологичности. Модуль характеризует:

- автоматический расчет оптимального расположения точек впуска;

- определение времени заполнения и охлаждения пресс-формы;

- анализ распределения температур литьевого материала в пресс-форме;

- выявление потенциально проблемных участков: линий полимеризации и холодного спая, воздушных раковин и т.п.;

- возможность анализа множества вариантов с измененными параметрами для оптимизации конструкции пресс-формы либо

процессов литья;

- автоматическое формирование отчётов в формате HTML и т.д.

Проектирование штампов для листогибочных, вырубных и пробивных операций при помощи модуля Pro/ENGINEER Progressive Die

Модуль позволяет повысить эффективность процессов разработки штампов и их качество и характеризуется:

- объединение всех преимуществ трехмерных САПР с простотой использования двухмерных систем;

- создание схемы раскроя полосы-заготовки на основе трехмерной модели листовой детали, разработанной в Pro/ENGINEER, либо в другой САПР;

- проектирование компоновки штампа: выбор из библиотеки или разработка нового блока штампа, пуансонов и матриц, установка направляющих, винтов и др. компонентов;

- создание спецификаций и чертежей (в полном соответствии с ЕСКД) раскроя полосы, сборки и деталей штампа и т.д.

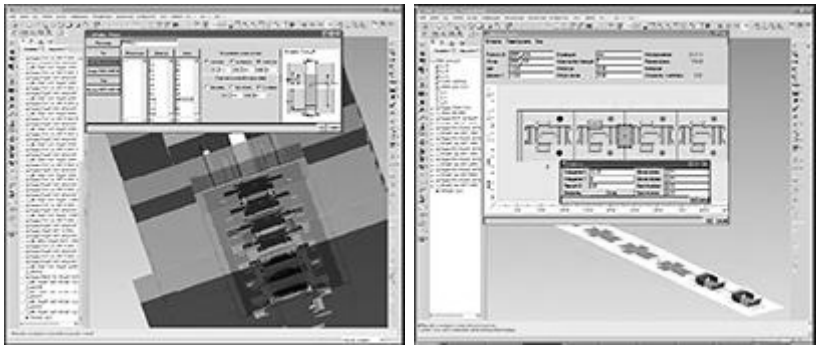


Рис. 78. Интерфейс модуля Pro/ENGINEER Progressive Die

Разработка управляющих программ (УП) для обрабатывающего оборудования с ЧПУ при помощи модуля Pro/ENGINEER Prismatic and Multi-surface Milling

Базовый модуль для разработки управляющих программ для станков с ЧПУ, обеспечивает:

- 2,5÷3 осевое фрезерование призматических деталей;

- принципы «быстрого» программирования;

- значительное сокращение времени разработки УП;

- многоосевое позиционирование и программирование работы поворотного стола;

- реалистичная визуализация процесса обработки с динамическим удалением материала с возможностью масштабирования и изменения панорамы просмотра;

- автоматический расчет оптимальных траекторий движения режущего инструмента;

- проверка УП на возможные зарезы детали режущим инструментом;

- использование готовых, стандартно поставляемых постпроцессоров для наиболее известных систем ЧПУ или собственных и т.д.;

- возможность накапливать и использовать передовой опыт мехобработки и т.д.

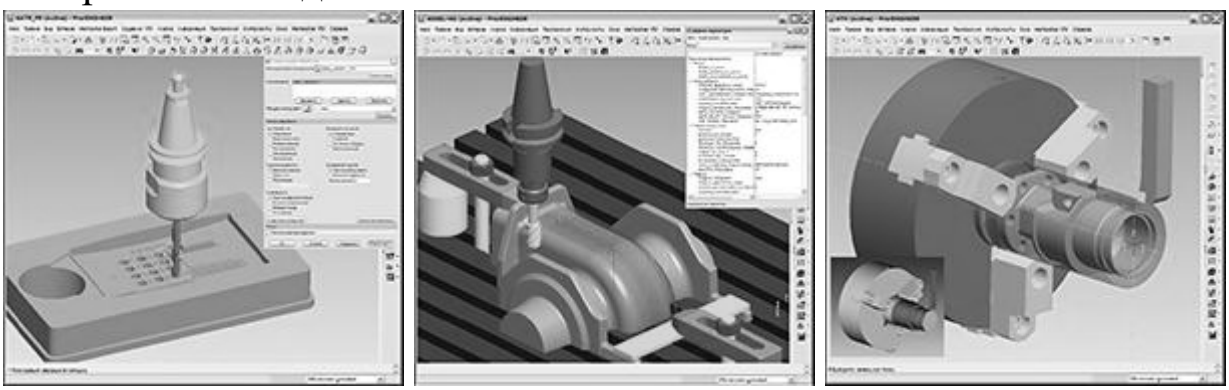


Рис. 79. Интерфейс модуля Pro/ENGINEER Prismatic and Multi-surface Milling

12. НАНОТЕХНОЛОГИИ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ: СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

12.1. Общие сведения о нанотехнологии

Энциклопедический словарь определяет технологию (от греч. "techne" – "искусство", "мастерство", "умение" + "logos" – "наука") как совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния (свойств, формы) первоначального сырья в процессе производства конечной продукции.

Приставка ***нано*** (от греч. "nannos" – "карлик") означает одну миллиардную (10^{-9}) долю какой-либо единицы (в нашем случае – метра). Атомы и мельчайшие молекулы имеют размер порядка 1 нанометра. Современные микросхемы, с размерами компонентов в одну десятую толщины тончайшего волоса могут считаться маленькими в стандартах тесальщиков кремня, но каждый транзистор все еще содержит триллионы атомов, и микрочипы все еще видимы невооружённым глазом.

Древние приемы технологии, которые можно проследить от ручной обработки камня до кремниевых чипов, таковы, что обращаются с сырьем, представляющим из себя большие совокупности атомов и молекул. Этот стиль можно назвать балк-технологией (англ. "bulk" – "груда", "кипа"). Нанотехнология призвана прецизионно (сверхточно) манипулировать индивидуальными атомами и молекулами. Она изменит наш мир больше, чем мы можем себе представить.

Атом (от греч. "atomos" – "неделимый") – это мельчайшая частица химического элемента, носитель его свойств, способный образовывать с другими атомами более сложные конструкции – молекулы.

Нанотехнология – это совокупность методов производства продуктов с заданной атомарной структурой путем манипулирования атомами и молекулами.

В связи с данным определением нанотехнологии, возникает естественный вопрос: каким же образом мы можем манипулировать веществом на уровне атомов и молекул? Ведь наши руки слишком

громадны для наномасштаба. Этот вопрос является камнем преткновения современной нанонауки.

Самое изящное решение этой проблемы, способное совершить новую технологическую революцию, предложил Эрик Дрекслер, в книге "Машины созидания". Для манипулирования атомами он изобрел специальные наномашины или ассемблеры. Чтобы их представить, нужно сначала наглядно представить, как выглядит молекула. Для этого мы изобразим атомы как бусинки, а молекулы как группы бусинок, соединённые между собой кусочками проволоки (Несмотря на чрезвычайную простоту такого представления, химики часто используют его, строя модели из пластмассовых шаров, связанных спицами в нескольких направлениях). Атомы имеют круглую форму подобно шарам, и хотя молекулярные связи - не кусочки проволоки, наша визуальная модель, как минимум, даёт важное представление о том, что связи могут быть порваны и восстановлены.

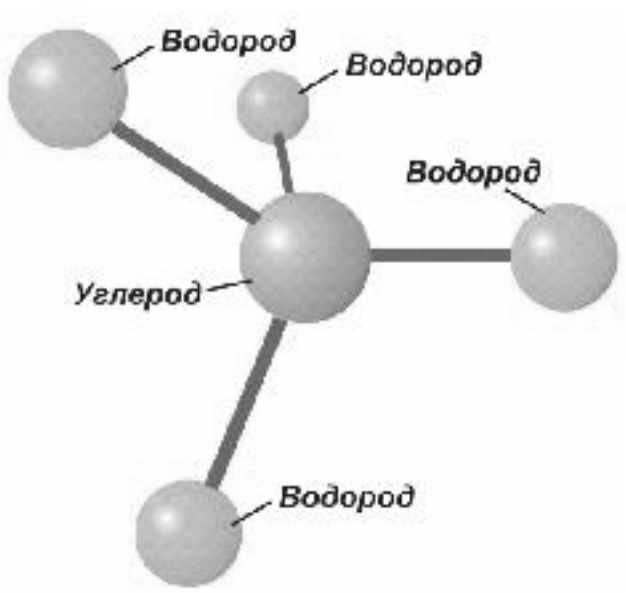


Рис. 80. Модель молекулы метана (CH4).

Наномашины должны уметь захватывать атомы или молекулы и соединять их между собой, причем не хаотично, а в соответствии с заданным алгоритмом. Важно отметить, что такие машины уже тысячи лет превосходно функционируют в природе, и примером их работы может служить механизм синтеза белка рибосомами. Из курса

биологии известно, что молекула рибосомы конструирует белок, "считывая" из молекул РНК "инструкции" для его построения.

При знакомстве с таким разнообразием белков и их функций, весьма неожиданным оказывается тот факт, что все белки растительного и животного мира – от совершенно инертных до биологически активных – состоят из одних и тех же стандартных звеньев – аминокислот, соединенных прочной химической связью, называемой пептидной. Внешне молекула белка подобна последовательности бусинок на нити, где роль бусинок выполняют молекулы аминокислот. В составе большинства белков находится в среднем 300-500 таких "бусинок".

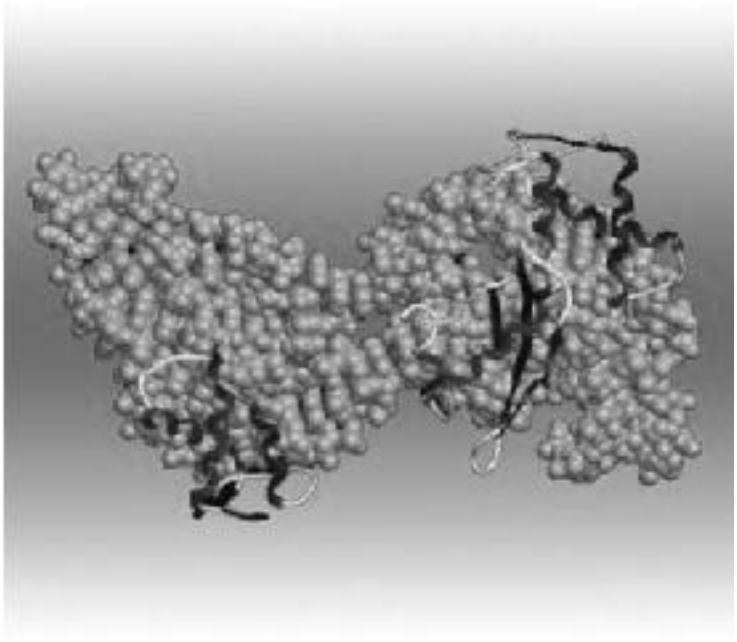


Рис. 81. Структура молекулы белка

Количество существующих в природе аминокислот ограничено – всего 20 видов, потому их можно уподобить 20 "буквам" особого "химического алфавита", из которых составлены белки – "слова" длиной в 300-500 букв.

С помощью 20 букв можно написать огромное количество таких длинных слов. Если учесть, что замена или перестановка хотя бы одной буквы в слове придаст ему новый смысл, то число возможных комбинаций букв в слове длиной в 500 символов составит 20500!

Цепь каждого белка построена из свойственной ***только этому белку*** комбинации аминокислот – только определенное число и только в определенной последовательности. Уникальность характерной для того или иного белка комбинации аминокислот и определяет его химические и биологические свойства. Перестановка всего лишь одного аминокислотного звена на другое место, его замена или потеря приведет к очень значительному изменению свойств белковой молекулы. Значит, при синтезе (построении) отдельного белка необходимо владеть точной информацией о чередовании аминокислотных звеньев в его структуре. В природе такая информация хранится на специальном носителе – молекуле ДНК, в которой содержится информация о структуре всех существующих в организме белков.

Рибосомы доказывают, что наномашины, построенные из белка и РНК, могут быть запрограммированы на построение сложных молекул, то есть по сути являются природными ассемблерами (сборщиками атомов) для производства заданных молекулярных структур. Генные инженеры сегодня пытаются построить первые экспериментальные искусственные наномашины, используя биологический природный материал: аминокислоты, белки, молекулы ДНК и др. Однако биоподобные наномашины (и все, что они могут создать) – это органика, а значит, их возможности ограничены. Они теряют стабильность или разрушаются при повышенных температурах и давлениях (происходит сворачивание белка), подвержены радиации, не могут обрабатывать твердый материал, действовать в химически агрессивных средах и т.п. Поэтому было бы неразумно отказаться от грандиозных наработок человечества в сфере балк-технологии.

В то же время без биоподобных структур очень трудно манипулировать отдельными атомами и молекулами. Поэтому наномашины-ассемблеры должны представлять собой синтез живых и технических систем. Дрекслер дает ассемблеру следующее определение:

Ассемблер – это молекулярная машина, способная к саморепликации, которая может быть запрограммирована строить

практически любую молекулярную структуру или устройство из более простых химических строительных блоков. Главная задача ассемблера – соединение атомов и молекул в заданном порядке. Он должен уметь строить наносистемы любого назначения - двигатели, станки, вычислительные устройства, средства связи и т.д. Это будет универсальный молекулярный робот со сменными программами на "перфолентах" типа цепочек РНК или ДНК. Внешний вид сборщика можно представить себе как "ящик" нанометрового размера с "рукой" – манипулятором длиной в сотню атомов. Исходным материалом для манипулятора могут служить атомы, молекулы, и химически активные молекулярные конструкции. Внутри сборщика размещены устройства, управляющие работой манипулятора и содержащие программу всех его действий. Поскольку составление больших молекул со сложной структурой потребует особой точности в позиционировании, ассемблер должен иметь несколько таких манипуляторов.

Возможно, что ассемблер будет чем-то похож на паука, при этом одними "лапами" он будет держаться за поверхность, а другими складывать сложные молекулярные структуры атом за атомом.

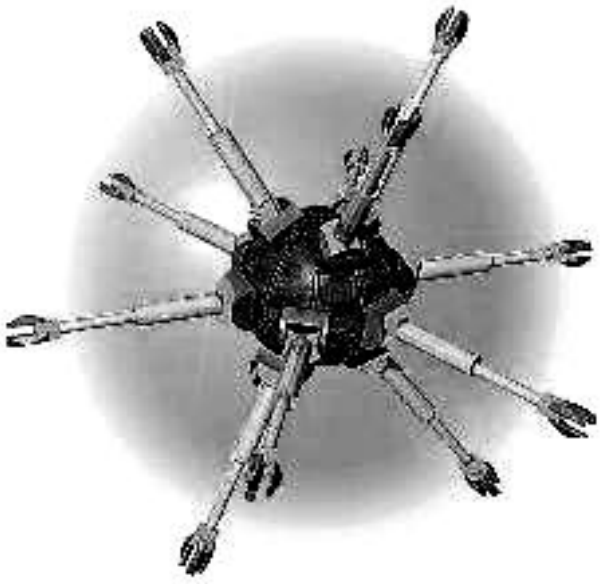


Рис. 82. Наиболее популярная схема внешнего вида наноассемблера

Управлять сборщиками должны будут нанокомпьютеры, программируемые на каком-нибудь обычном языке управления

промышленными роботами, и имеющие связь с обычным компьютером, управляемым человеком. Представим, что человек-оператор моделирует на компьютере некоторую конструкцию, особым образом задавая её молекулярную структуру. "Нарисовав" нужный объект, человек передает команду ассемблерам, которые, начинают создавать его атом за атомом. И через некоторое время у конструктора появляется готовая вещь с заданными характеристиками при минимальном вмешательстве человека. Ассемблеры могут работать в паре с ***дизассемблерами*** – наномашинами, способными разбирать объект на атомы с записью его структуры на молекулярном уровне. Например, для того, чтобы создать копию какого-то объекта, необходимо, чтобы дизассемблер разобрал его атом за атомом, и передал всю информацию о типе атомов, их положении и т.д. ассемблеру, который потом может создавать копии объекта сколько угодно раз. Теоретически такая копия ничем не будет уступать оригиналу – она будет повторять его вплоть до отдельного атома! Дизассемблеры также помогут ученым лучше узнать вещи и их атомную структуру.

Как уже было сказано, ассемблеры будут обладать способностью к ***репликации*** (размножению). Когда речь идет об эволюции, то репликатор – это объект, который способен сам себя скопировать, включая любые изменения, которым он мог подвергнуться (подобно гену или компьютерному вирусу). Реплицируется (размножается путём создания своей копии) ассемблер по команде от макрокомпьютера или в зависимости от окружения. Таким образом, создав один единственный универсальный ассемблер, способный создавать копию себя, мы через несколько часов получим целую армию этих крошек, которые в буквальном смысле слова изменят нашу жизнь.

Самой большой проблемой ассемблеров является сложность их первоначального конструирования. Тем не менее, лаборатории всех мировых держав борются за право быть первыми в этом революционном прорыве.

Возможности использования нанотехнологий неисчерпаемы – начиная от "проживающих" в организме нанокомпьютеров,

убивающих раковые клетки и ремонтирующих поврежденные ткани и органы и заканчивая автомобильными двигателями, не загрязняющими окружающую среду.

Сегодня Foresight Institute, базис всей мировой нанотехнологии, обещает 250000$ тому, кто построит нано-манипулятор – "руку", которая сможет оперировать на молекулярном уровне и тому, кто создаст 8-битный сумматор, умещающийся в кубике со стороной в 50 нанометров.

Ждать осталось не так уж долго. Оптимисты считают периодом расцвета практических нанотехнологии первую четверть наступившего века. Пессимисты отодвигают срок до середины века. Значит, тем, кто сегодня определяет свою будущую профессию, стоит задуматься – быть может, программист нанороботов и конструктор молекулярных компьютеров станут наиболее популярными специальностями уже через несколько лет.

12.2. Оборудование нанотехнологии

Всякая технология, будь то обработка материала на макро, микро или наноуровне, не может обходиться без средств измерения соответствующих величин. Среди многообразия измерительных приборов, существуют специальные приборы для измерения как больших, так и малых расстояний.

Так, малые расстояния вплоть до миллиметрового порядка легко измеряются с помощью обычной линейки. Ею можно измерить, например, толщину куска плотного картона. Не так уж трудно измерить толщину тонкого листа бумаги, если таких листов много.

Однако для меньших размеров линейка уже не годится. Если попытаться измерить с ее помощью толщину волоса, то единственное, что можно будет сказать – это то, что волос очень тонкий, что очевидно и без измерений. Поэтому, чтобы идти дальше в сторону еще меньших расстояний, необходимы увеличительные приборы, из которых всем наиболее знаком обычный оптический микроскоп.

Оптический микроскоп, позволяет видеть мелкие детали, величиной до 0,25 мкм. Дальнейшие способы улучшения микроскопа,

работающего на принципах оптики, привели к созданию его электронного варианта, с помощью которого удается наблюдать предметы с размерами порядка нанометра. Электронный микроскоп позволяет различать даже атомные решетки, но вот обнаружить в них дефекты он уже не может. А ведь для целей нанотехнологии нужно хорошо визуализировать отдельные атомы!

Поэтому когда все возможности данного устройства были исчерпаны, ученые принялись искать новые пути решения поставленной задачи. И вот в начале XX века появилась оригинальная идея изучать вещество, не увеличивая визуально исследуемую площадь его поверхности, а как бы трогая её. Здесь пригодился открытый к тому времени туннельный эффект, на основе которого в 1981 году был создан первый сканирующий туннельный микроскоп (СТМ). ***Туннельный эффект*** является принципиально квантово-механическим эффектом, не имеющим аналога в классической физике и потому представляет огромный интерес для исследователей. Он основан на корпускулярно-волновом дуализме – двойственной природе элементарных частиц.

С точки зрения классической механики, очевидно, что никакое материальное тело, имеющее энергию E, не может преодолеть потенциальный барьер высотой V0, если V0>E . Например, если принять за материальное тело мяч, а за потенциальный барьер очень высокий бетонный забор, то понятно, что если кинуть мяч в сторону забора недостаточно высоко так, что его энергии не хватит на перелет стоящего перед ним барьера, то он, ударившись о преграду, отскочит назад.

Однако если в качестве материального тела рассмотреть электрон оказывается, что даже если высота потенциального барьера выше, чем собственная энергия электрона, то он с определенной вероятностью может оказаться с другой стороны барьера, лишь незначительно изменив свою энергию, как если бы в "заборе" оказалась некая "дырка" или туннель.

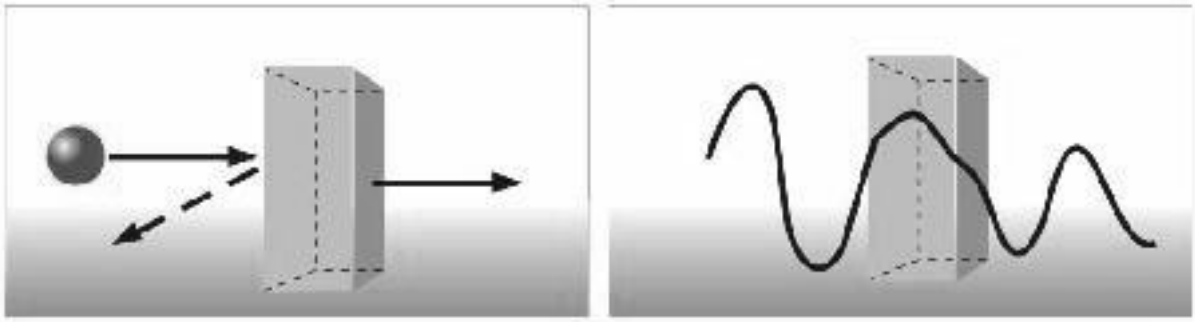


Рис. 83. Туннельный эффект

Это, необъяснимое, на первый взгляд, туннелирование является следствием того, что электрону присущи как корпускулярные, так и волновые свойства. Будь электрон классической частицей, обладающей энергией E, он, встретив на своем пути преграду, требующую для преодоления большей энергии, должен был бы отразиться от этой преграды. Однако, будучи одновременно и волной, он проходит сквозь эту преграду, подобно тому, как рентгеновские волны свободно проходят сквозь материальные объекты. Таким образом, над поверхностью любого проводника или полупроводника всегда наблюдается некоторое количество свободных электронов, "вышедших" за его пределы не в результате термоэлектронной эмиссии, а благодаря туннельному эффекту. Если взять два проводящих вещества, расположить их на расстоянии 0,5 нм друг от друга и приложить к ним сравнительно малую разность потенциалов (0,1-1 В), то между ними возникнет электрический ток, обусловленный туннельным эффектом, который называется ***туннельным током***.

Если повторить тот же опыт, но к поверхности интересующего тела поднести острый предмет, например, очень тонкую иглу с кончиком в атом толщиной, то, проводя ею над изучаемым объектом (сканируя его поверхность) можно получать информацию о строении объекта на атомном уровне.

В 1981 году сотрудники компании IBM Г. Бининг и Г. Рорер на основе этого явления построили первый ***сканирующий туннельный микроскоп*** (СТМ) и в 1982 году, с его помощью впервые в истории получили изображение поверхности золота, а затем и кремния с

атомарным разрешением.

За это открытие в 1985 году ученые были удостоены Нобелевской премии, а дальнейшее развитие сканирующей микроскопии привело к бурному развитию нанотехнологий. По иронии судьбы, огромные возможности СТМ были осознаны далеко не сразу: некоторые научно-популярные издания даже не хотели брать в печать статью Бининга и Рорера, содержащую описание изобретения на основании того, что это якобы "недостаточно интересно" (впрочем, то же наблюдалось и десять лет спустя в ряде российских СМИ).

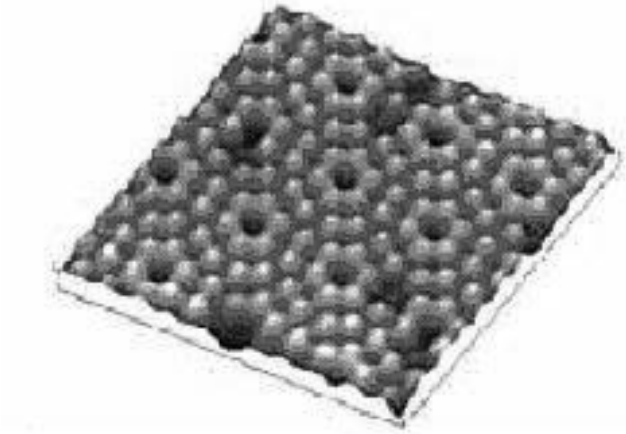


Рис. 84. STM изображение поверхности монокристаллического кремния

Рабочим органом СТМ, ***зондом,*** служит токопроводящая металлическая игла. Зонд подводится к изучаемой поверхности на очень близкое расстояние (около 0,5 нм) и, при подаче на зонд постоянного напряжения, между ними возникает туннельный ток, который экспоненциально зависит от расстояния между зондом и образцом. Это значит, что при увеличении расстояния лишь на 0,1 нм туннельный ток уменьшается почти в 10 раз! Именно это и обеспечивает высокую разрешающую способность микроскопа, поскольку незначительные изменения по высоте рельефа поверхности вызывают существенное изменение туннельного тока. Поддерживая ток и расстояние постоянным при помощи следящей системы, зонд сканирует поверхность, перемещаясь над нею по осям

X и *Y*, то, опускаясь, то, поднимаясь в зависимости от ее рельефа. Информация об этом перемещении отслеживается компьютером, и программно визуализируется, чтобы исследователь мог увидеть на экране объект с нужным разрешением.

Существуют два варианта конструкции СТМ в зависимости от режима сканирования образцов. В ***режиме постоянной высоты*** острие иглы перемещается в горизонтальной плоскости над образцом, а ток туннелирования изменяется. Исходя из данных о величине тока туннелирования, измеренной в каждой точке поверхности, строится образ ее рельефа.

В ***режиме постоянного тока*** СТМ задействуется система обратной связи для поддержания постоянного тока туннелирования путем подстройки высоты сканирующего устройства над поверхностью в каждой ее точке.

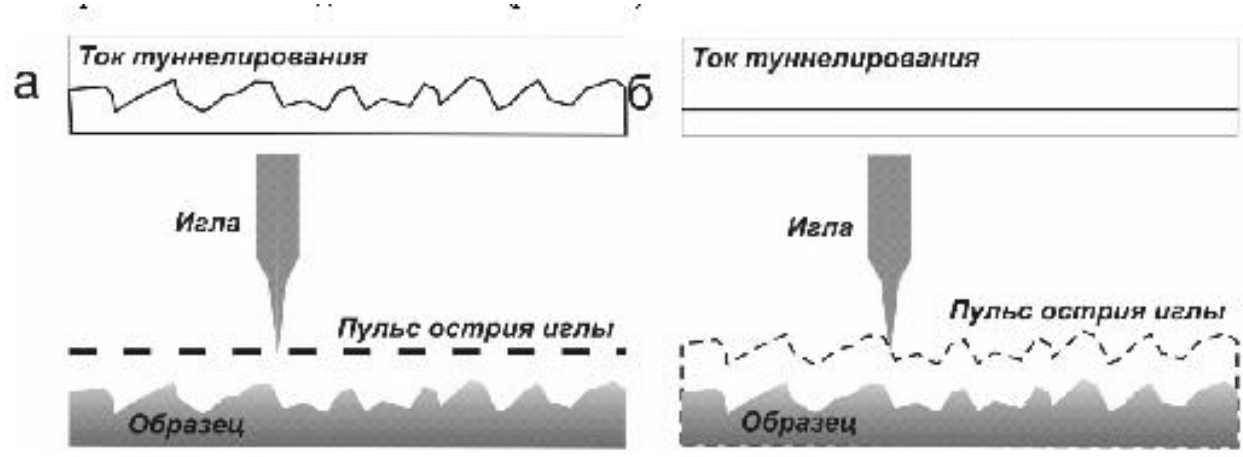


Рис. 85. Ток туннелирования

У каждого режима есть преимущества и недостатки. Режим постоянной высоты быстрее, так как системе не приходится передвигать сканирующее устройство вверх-вниз, но при этом можно получить полезную информацию только с относительно гладких образцов. В режиме постоянного тока можно с высокой точностью изучать сложные поверхности, но он занимает и больше времени. Важной деталью сканирующего туннельного микроскопа является механический манипулятор, который должен обеспечивать перемещение зонда над поверхностью с точностью до тысячных долей нанометра. Обычно механический манипулятор изготавливают

из ***пьезокерамического материала***.

Отличительным свойством такого материала является ***пьезоэффект***. Суть его заключается в следующем: если из пьезоматериала вырезать прямоугольную балку, нанести на противоположные стороны металлические электроды и приложить к ним разность потенциалов, то под действием тока произойдет изменение геометрических размеров балки. И, наоборот: при малейшей деформации (сжатии) балки, на ее противоположных концах возникнет разность потенциалов. Таким образом, управляя малыми изменениями тока, можно добиться перемещения зонда на очень малые расстояния, необходимые для работы сканирующего микроскопа.

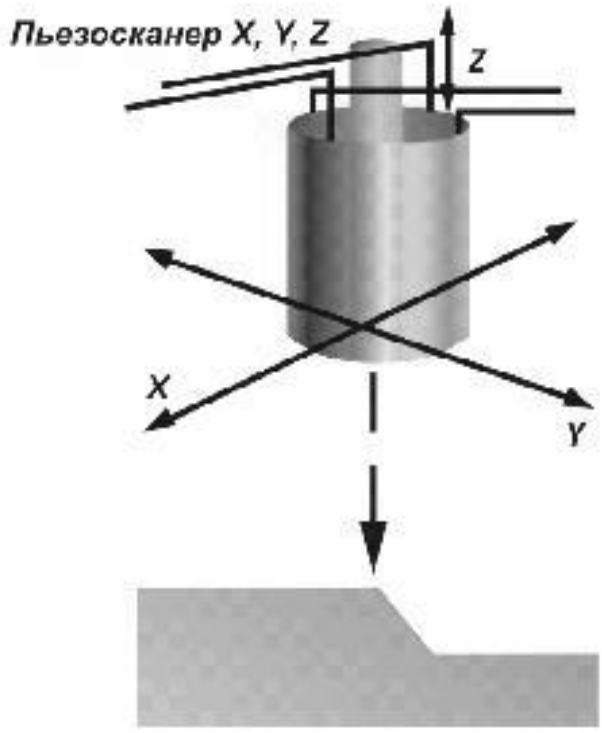


Рис. 86. Схема пьезоманипулятора

В практических конструкциях обычно используют пьезокерамические манипуляторы, выполненные в виде тонкостенной трубки с несколькими раздельными электродами. Управляющее напряжение вызывает удлинение или изгиб таких манипуляторов и, соответственно, перемещение зонда по всем трем пространственным координатам *X, Y* и *Z* .

Конструкции современных манипуляторов обеспечивают диапазон перемещения зонда до 100-200 мкм в плоскости и до 5-12 мкм — по высоте.

Туннельный микроскоп позволил ученым исследовать поверхности на атомном уровне. Однако этот прибор имеет и ряд ограничений. Основанный на туннельном эффекте, он может применяться только для изучения материалов, хорошо проводящих электрический ток. Но прогресс не стоит на месте, и в 1986 году в

лаборатории цюрихского отделения IBM были созданы микроскопы следующего поколения – ***атомно-силовые микроскопы*** (АСМ). АСМ тоже позволяет исследовать поверхности с атомной точностью, но уже вовсе не обязательно электропроводящие. Сегодня именно он представляет наибольший интерес для исследователей.

Принцип действия атомно-силового и туннельного микроскопов практически одинаковы, только в отличие от туннельного, атомно-силовой микроскоп основан на использовании сил межатомных связей. На малых расстояниях (около 0,1 нм) между атомами двух тел действуют силы отталкивания (рис. 87, а), а на больших - силы притяжения (рис. 87, б).

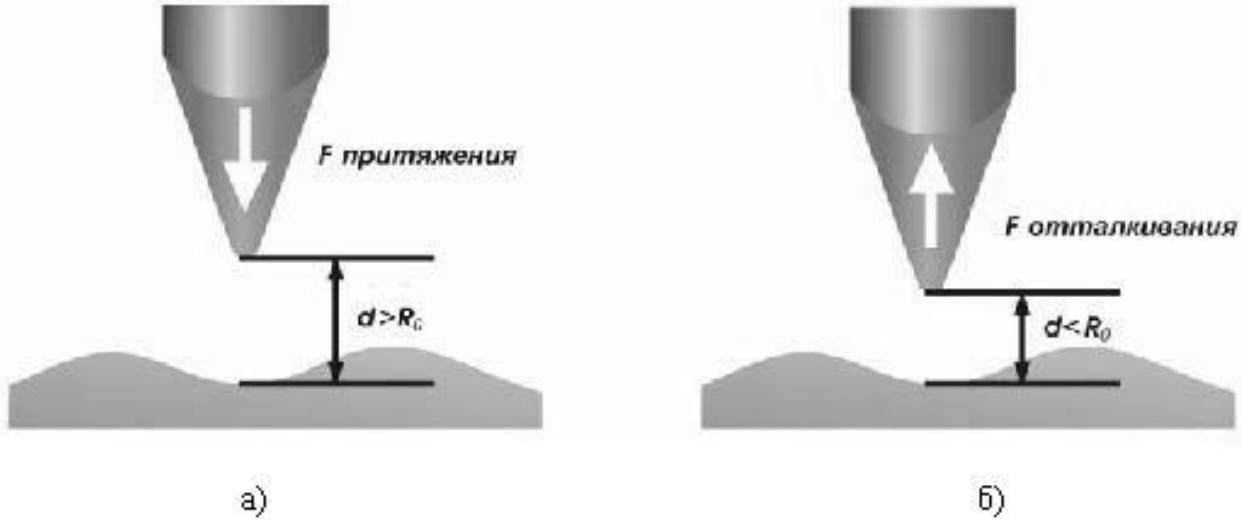


Рис. 87. Принцип действия АСМ

В сканирующем атомно-силовом микроскопе такими телами служат исследуемая поверхность и скользящее над нею острие. В качестве зонда в АСМ обычно используется алмазная игла. При изменении силы F, действующей между поверхностью и острием, пружинка, на которой оно закреплено, отклоняется, и это регистрируется датчиком. Величина отклонения упругого элемента (пружинки) несет информацию о рельефе поверхности.

На рисунке 94 схематически представлена кривая зависимости межатомной силы от расстояния между острием иглы и образцом.

По мере приближения иглы к поверхности, ее атомы все сильней притягиваются к атомам образца. Сила притяжения будет возрастать пока игла и поверхность не сблизятся настолько, что их

электронные облака начнут отталкиваться электростатически. При дальнейшем сближении электростатическое отталкивание экспоненциально ослабляет силу притяжения. Эти силы уравновешиваются на расстоянии между атомами около 0,2 нм.

Рис. 88. Зависимость силы межатомного взаимодействия от расстояния между острием и образцом

Подобно СТМ в АСМ сканирование поверхности может происходить двумя способами: ***сканирование кантилевером*** и ***сканирование подложкой***. В первом случае вдоль исследуемой поверхности движется кантилевер, во втором относительно неподвижного кантилевера движется сама подложка.

Для регистрации сил взаимодействия зонда с поверхностью обычно используют метод, основанный на регистрации отклонения лазерного луча, отраженного от кончика зонда. Луч направляется на самый кончик кантилевера, покрытый специальным алюминиевым зеркальным слоем, после чего попадает в специальный четырёхсекционный фотодиод.

Таким образом, малейшие отклонения кантилевера приводят к смещению луча лазера относительно секций фотодиода, что, в свою очередь, меняет сигнал с фотодиода, показывающего смещения кантилевера в ту или иную сторону. Такая система позволяет

измерять отклонения луча на угол 0.1", что соответствует отклонению кантилевера всего на сотые доли нанометра! Поскольку АСМ не требует, чтобы образцы были проводящими, он позволяет исследовать свойства проводников и изоляторов, молекул ДНК и других мягких материалов.

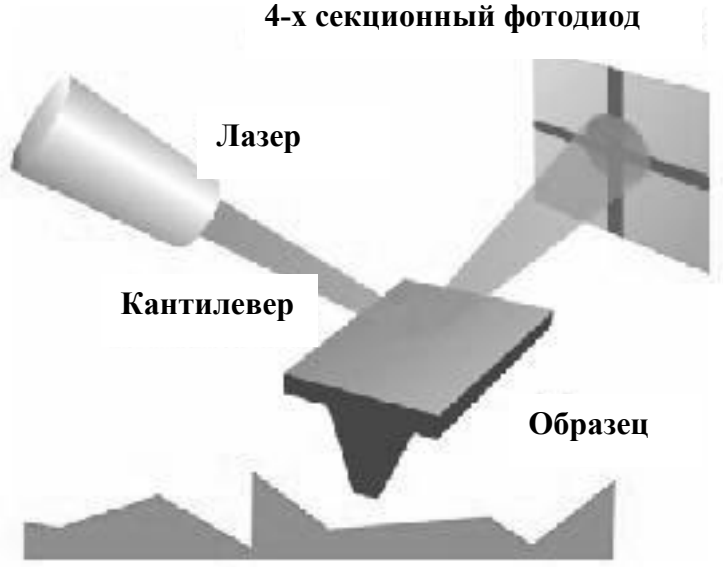


Рис. 89. Схема регистрации отклонения лазерного луча от начального откалиброванного положения

Дальнейшее развитие зондовой микроскопии показало, что изложенный принцип может быть реализован практически для любого вида взаимодействия острия зонда с поверхностью. Это привело к созданию целого ряда различных подвидов микроскопов, носящих общее название – сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ). Сегодня наиболее известны следующие их разновидности:

- Туннельные зонды
- Атомно-силовые зонды
- Оптические зонды ближнего поля
- Магнитные силовые зонды
- Электростатические силовые зонды и др.

В конструкции каждого сканирующего зондового микроскопа есть свои особенности. Однако общая схема остается более или менее одинаковой. В состав СЗМ обычно входит компьютер, который управляет работой электромеханической части микроскопа,

принимает и записывает регистрируемые зондом данные и производит на их основе построение СЗМ-изображения. Кроме того, специальное программное обеспечение позволяет исследователю, как угодно манипулировать полученным изображением (масштабировать, поворачивать, строить сечения и т.п.) чтобы проанализировать наблюдаемую картину поверхности.

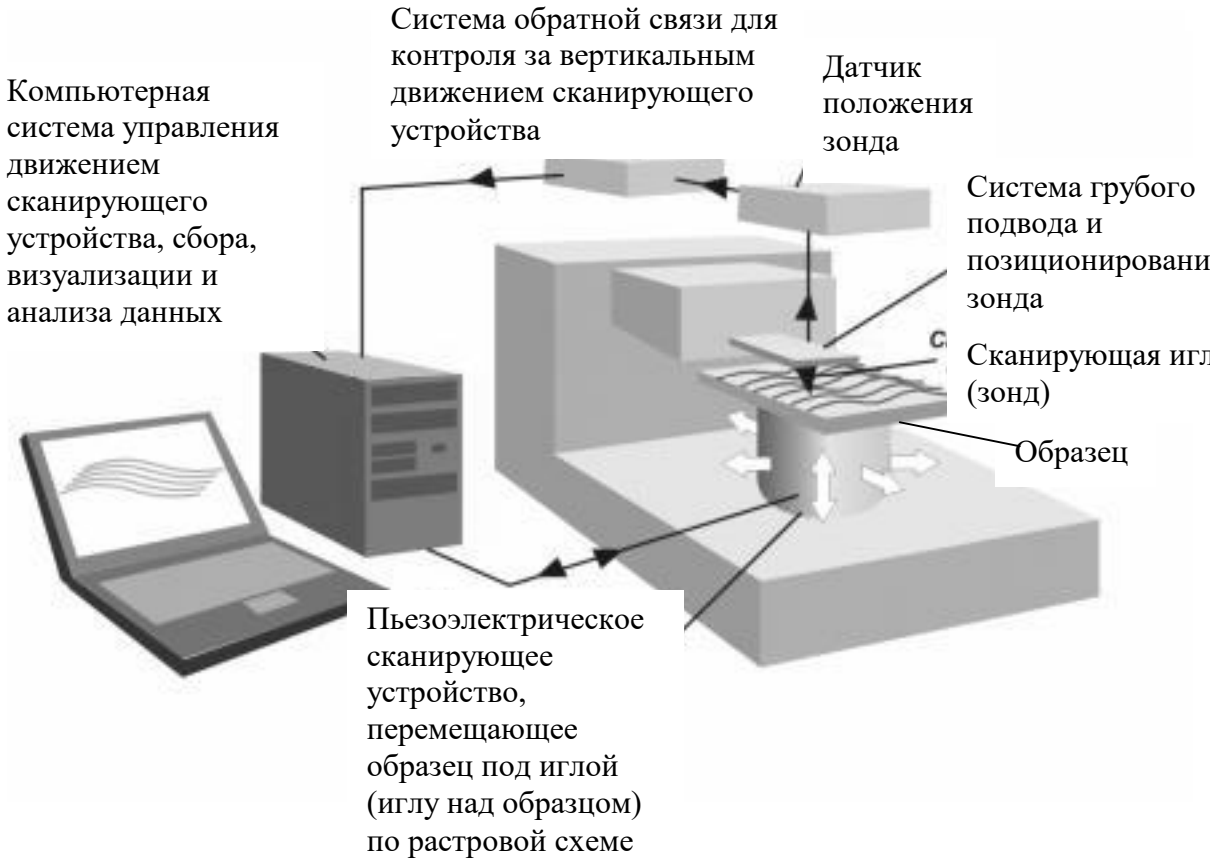


Рис. 90. Общая схема работы СЗМ

Терминология, сложившаяся в сканирующей зондовой микроскопии, несет на себе отпечаток своего англоязычного происхождения. Так, часто острие сканирующей иглы называется "***типом***" (tip), а консоль - "***кантилевером***" (cantilever).

Сегодня СЗМ являются основными инструментами нанотехнологии. Благодаря значительным усовершенствованиям, они позволяют изучать не только топологию (геометрические свойства) исследуемых объектов, но и массу других характеристик: магнитные и электрические свойства, твердость, однородность состава и др. и все это с нанометровым разрешением!

Кроме определения различных параметров, современные СЗМ позволяют ***манипулировать*** нанообъектами, обеспечивать захват отдельных атомов и перенос их в новую позицию, производить атомарную сборку проводников шириной в один атом, придавая тем самым поверхностям различных предметов новые нужные качества. Существуют два основных способа манипуляции атомами с помощью иглы СТМ - ***горизонтальный*** и ***вертикальный***. При вертикальной манипуляции после захвата нужный атом отрывают от поверхности, поднимая зонд на несколько ангстрем. Отрыв атома от поверхности контролируют по скачку тока. Разумеется, отрыв и перетаскивание атома требует больших усилий, чем просто его "перекатывание" по поверхности, как при горизонтальной манипуляции, но зато потом процесс переноса не зависит от встречающихся на поверхности препятствий (ступеней, ям, адсорбированных атомов). После перемещения в необходимое место атом "сбрасывают", приближая острие к поверхности и переключая напряжение на игле. В настоящее время в мире в широком ассортименте выпускаются СЗМ и принадлежности к ним. Среди наиболее известных фирм можно назвать Digital Instruments, Park Scientific Instruments, Omicron, Topometrix, Burleigh и др. Цены на них колеблются в широких пределах — от 40 тыс. долл. за простейший АСМ до 100-200 тыс. долл. и выше в зависимости от комплектации и спектра решаемых задач. В России СЗМ изготавливают фирмы Нанотехнология-МДТ, Концерн Наноиндустрия и др.

12.3. Фуллерены и углеродные нанотрубки

Еще Демокрит в своей атомистической концепции Вселенной обратил внимание на то, что мир состоит из множества "кирпичиков" – химических элементов и их соединений, различающихся между собой особыми свойствами. Как неодинаковы свойства каждого из "кирпичей мироздания", так неодинаковы и их истории. Одни элементы, такие, как медь, железо, сера, углерод, известны с доисторических времен. Возраст других измеряется только веками, несмотря на то, что ими, даже не открытыми, человечество пользовалось всегда (тот же кислород, к примеру, был открыт лишь в

XVIII веке). Третьи были открыты 100-200 лет тому назад, но приобрели первостепенную важность лишь в наше время. К ним относятся уран, алюминий, бор, литий, бериллий и др.

У четвертых рабочая биография только начинается... В 1985 году Роберт Керл, Гарольд Крото и Ричард Смолли совершенно неожиданно открыли принципиально новое углеродное соединение – ***фуллерен,*** уникальные свойства которого вызвали целый шквал исследований. В 1996 году первооткрывателям фуллеренов присуждена Нобелевская премия. Основой молекулы фуллерена является углерод – этот уникальнейший химический элемент, отличающийся способностью соединяться с большинством элементов и образовывать молекулы самого различного состава и строения. Из курса химии известно, что углерод имеет два основных ***аллотропных состояния*** – графит и алмаз. Так вот, с открытием фуллерена, можно сказать, углерод приобрел еще одно аллотропное состояние.

Для начала рассмотрим структуры молекул графита, алмаза и фуллерена. Графит обладает слоистой структурой. Каждый его слой состоит из атомов углерода, ковалентно связанных друг с другом в правильные шестиугольники.

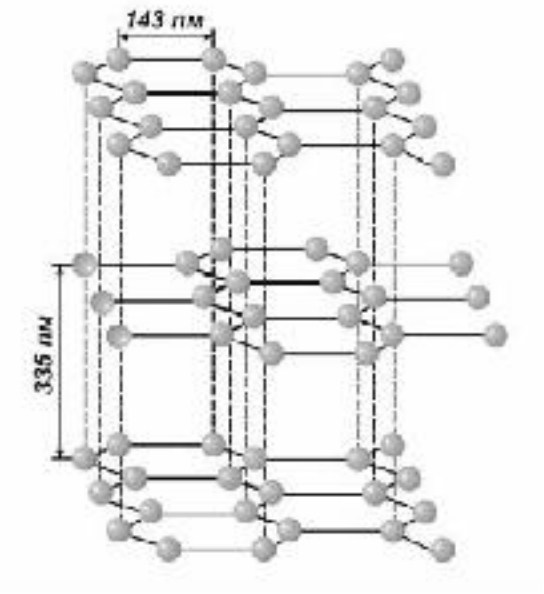


Рис. 91. Структура графита

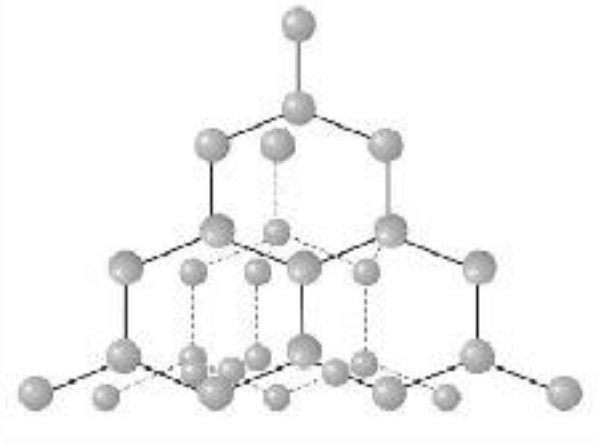


Рис. 92. Структура алмаза

Соседние слои удерживаются вместе слабыми Ван-дер-Ваальсовыми силами. Поэтому они легко скользят друг по другу.

Примером этого может служить простой карандаш – когда вы проводите графитовым стержнем по бумаге, слои постепенно "отслаиваются" друг от друга, оставляя на ней след.

Алмаз имеет трехмерную ***тетраэдрическую структуру***. Каждый атом углерода ковалентно связан с четырьмя другими. Все атомы в кристаллической решетке расположены на одинаковом расстоянии (154 нм) друг от друга. Каждый из них связан с другими прямой ковалентной связью и образует в кристалле, каких бы размеров он ни был, одну гигантскую макромолекулу.

Благодаря высокой энергии ковалентных связей С-С, алмаз обладает высочайшей прочностью и используется не только как драгоценный камень, но и в качестве сырья для изготовления металлорежущего и шлифовального инструмента. ***Фуллерены*** получили свое название в честь архитектора Бакминстера Фуллера, который придумал подобные структуры для использования их в архитектурном строительстве (поэтому их также называют бакиболами). Фуллерен имеет каркасную структуру, очень напоминающую футбольный мяч, состоящий из "заплаток" 5-ти и 6-тиугольной формы. Если представить, что в вершинах этого многогранника находятся атомы углерода, то мы получим самый стабильный фуллерен С60.

Рис. 93. Структура фуллерена

В молекуле С60, которая является наиболее известным, а также наиболее симметричным представителем семейства фуллеренов, число шестиугольников равно 20. При этом каждый пятиугольник

граничит только с шестиугольниками, а каждый шестиугольник имеет три общие стороны с шестиугольниками и три – с пятиугольниками. Структура молекулы фуллерена интересна тем, что внутри такого углеродного "мячика" образуется полость, в которую благодаря капиллярным свойствам можно ввести атомы и молекулы других веществ, что дает, например, возможность их безопасной транспортировки.

По мере исследования фуллеренов были синтезированы и изучены их молекулы, содержащие различное число атомов углерода – от 36 до 540. Однако разнообразие углеродных каркасных структур на этом не заканчивается. В 1991 году японский профессор Сумио Иидзима обнаружил длинные углеродные цилиндры, получившие названия ***нанотрубок.***

Нанотрубка – это молекула из более миллиона атомов углерода, представляющая собой трубку с диаметром около нанометра и длиной несколько десятков микрон. В стенках трубки атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников.

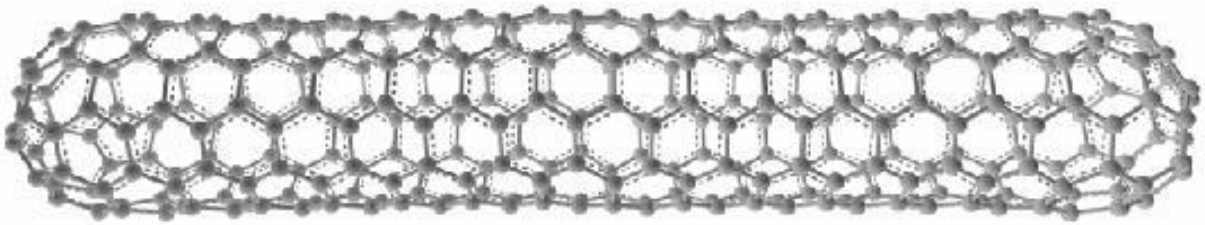


Рис. 94. Структура нанотрубки

Структуру нанотрубок можно представить себе так: берем графитовую плоскость, вырезаем из нее полоску и "склеиваем" ее в цилиндр (на самом деле, конечно, нанотрубки растут совсем по-другому). Однако до экспериментального открытия нанотрубок никто из теоретиков их не предсказывал. Так что ученым оставалось только изучать их и удивляться.

А удивляться было чему – ведь эти удивительные нанотрубки в 100 тыс. раз тоньше человеческого волоса оказались на редкость прочным материалом. Нанотрубки в 50-100 раз прочнее стали и

имеют в шесть раз меньшую плотность! Модуль Юнга – уровень сопротивления материала деформации – у нанотрубок вдвое выше, чем у обычных углеродных волокон. То есть трубки не только прочные, но и гибкие, и напоминают по своему поведению не ломкие соломинки, а жесткие резиновые трубки. Под действием механических напряжений, превышающих критические, нанотрубки ведут себя довольно экстравагантно: они не "рвутся", не "ломаются", а просто-напросто перестраиваются!

Эти необычные свойства нанотрубок можно использовать для создания искусственных мускулов, которые при одинаковом объеме могут быть вдесятеро сильнее биологических, не боятся высоких температур, вакуума и многих химических реагентов. Из нанотрубок можно создать сверхлегкие и сверхпрочные композиционные материалы, чтобы шить из них одежду, не стесняющую движений, для пожарных и космонавтов. Нанокабель от Земли до Луны из одиночной трубки можно было бы намотать на катушку размером с маковое зернышко. Небольшая нить диаметром 1 мм, состоящая из нанотрубок, могла бы выдержать груз в 20 т, что в несколько сотен миллиардов раз больше ее собственной массы! Правда, в настоящее время максимальная длина нанотрубок составляет десятки и сотни микрон - что, конечно, очень велико по атомным масштабам, но слишком мало для повседневного использования. Однако длина получаемых нанотрубок постепенно увеличивается – сейчас ученые уже вплотную подошли к сантиметровому рубежу. Получены многослойные нанотрубки длиной 4 мм. Поэтому есть все основания надеяться, что в скором будущем ученые научатся выращивать нанотрубки длиной в метры и даже сотни метров.

Безусловно, это сильно повлияет на будущие технологии: ведь невидимый невооруженным взглядом "трос" в тысячи раз тоньше человеческого волоса и способный удерживать груз в сотни килограмм, найдет бесчисленное множество применений. Нанотрубки бывают самой разной формы: однослойные и многослойные, прямые и спиральные. Кроме того, они демонстрируют целый спектр самых неожиданных электрических, магнитных, оптических свойств.

Например, в зависимости от конкретной схемы сворачивания графитовой плоскости (хиральности), нанотрубки могут быть как проводниками, так и полупроводниками электричества. Электронные свойства нанотрубок можно целенаправленно менять путем введения внутрь трубок атомов других веществ.

Пустоты внутри фуллеренов и нанотрубок давно привлекали внимание ученых. Эксперименты показали, что если внутрь фуллерена внедрить атом какого-нибудь вещества (этот процесс носит название "интеркаляция", т.е. "внедрение"), то это может изменить его электрические свойства и даже превратить изолятор в сверхпроводник!

А можно ли таким же образом изменить свойства нанотрубок? Оказывается, да. Ученые смогли поместить внутрь нанотрубки целую цепочку из фуллеренов с уже внедренными в них атомами гадолиния. Электрические свойства такой необычной структуры сильно отличались как от свойств простой, полой нанотрубки, так и от свойств нанотрубки с пустыми фуллеренами внутри. Интересно отметить, что для таких соединений разработаны специальные химические обозначения. Описанная выше структура записывается как Gd@C60@SWNT, что означает "Gd внутри C60 внутри однослойной нанотрубки (Single Wall NanoTube)".

Может ли какой-либо иной материал с таким простым химическим составом похвастаться хотя бы частью тех свойств, которыми обладают нанотрубки? Спектр их возможного применения очень широк: Из нанотрубок можно делать, например, уникальные провода для микроприборов. Уникальность их заключается в том, что ток протекает по ним практически без выделения тепла и достигает громадного значения – 107 А/см^2. Классический проводник при таких значениях мгновенно бы испарился.

Разработано также несколько применений нанотрубок в компьютерной индустрии. Уже в 2006 году появились эксперементальные эмиссионные мониторы с плоским экраном, работающие на матрице из нанотрубок. Под действием напряжения, прикладываемого к одному из концов нанотрубки, другой конец

начинает испускаться электроны, которые попадают на фосфоресцирующий экран и вызывают свечение пикселя. Получающееся при этом зерно изображения будет фантастически малым: порядка микрона! Другой пример - использование нанотрубки в качестве иглы сканирующего микроскопа. Обычно такое острие представляет собой остро заточенную вольфрамовую иглу, но по атомным меркам такая заточка все равно достаточно грубая. Нанотрубка же представляет собой идеальную иглу диаметром порядка нескольких атомов. Прикладывая определенное напряжение, можно подхватывать атомы и целые молекулы, находящиеся на подложке непосредственно под иглой, и переносить их с места на место.

Необычные электрические свойства нанотрубок сделают их одним из основных материалов наноэлектроники. На их основе изготовлены новые элементы для компьютеров. Эти элементы обеспечивают уменьшение устройств по сравнению с кремниевыми на несколько порядков. Сейчас активно обсуждается вопрос о том, в какую сторону пойдет развитие электроники после того, как возможности дальнейшей миниатюризации электронных схем на основе традиционных полупроводников будут полностью исчерпаны (это может произойти в ближайшие 5-6 лет). И нанотрубкам отводится, бесспорно, лидирующее положение среди перспективных претендентов на место кремния.

Еще одно применение нанотрубок в наноэлектронике – создание полупроводниковых гетероструктур, т.е. структур типа "металл/полупроводник" или стык двух разных полупроводников (нанотранзисторы).

Теперь для изготовления такой структуры не надо будет выращивать отдельно два материала и затем "сваривать" их друг с другом. Все, что требуется, это в процессе роста нанотрубки создать в ней структурный дефект (а именно, заменить один из углеродных шестиугольников пятиугольником) просто надломив его посередине особым образом. Тогда одна часть нанотрубки будет обладать металлическими свойствами, а другая - свойствами полупроводников! Нанотрубки – идеальный материал для

безопасного хранения газов во внутренних полостях. В первую очередь это относится к водороду, который давно стали бы использовать как топливо для автомобилей, если бы громоздкие, толстостенные, тяжелые и небезопасные баллоны для хранения водорода не лишали водород его главного преимущества – большого количества энергии, выделяемой на единицу массы (на 500 км пробега автомобиля требуется всего около 3 кг H2).

Ввиду того, что запасы нефти на нашей планете не бесконечны, то автомобиль на водородном топливе был бы эффектным решением многих экологических проблем. Поэтому, возможно, скоро вместо традиционного бензина новые водородные "бензобаки" с нанотрубками будут заполнять водородным топливом стационарно под давлением, а извлекать – небольшим подогреванием такого "водородобака". Чтобы превзойти обычные газовые баллоны по плотности запасенной энергии, нужны нанотрубки с полостями относительно большого диаметра – более 2-3 нм. В нанотрубки можно не только "загонять" атомы и молекулы поодиночке, но и буквально "вливать" вещество. Как показали эксперименты, открытая нанотрубка обладает капиллярными свойствами, то есть она как бы втягивает в себя вещество. Таким образом, нанотрубки можно использовать как микроскопические контейнеры для перевозки и хранения химически или биологически активных веществ: белков, ядовитых газов, компонентов топлива и даже расплавленных металлов.

Попав внутрь нанотрубки, атомы или молекулы уже не могут выйти наружу: концы нанотрубок надежно "запаяны", а углеродное кольцо слишком узко для большинства атомов чтобы "пролезть" через него. В таком виде активные атомы или молекулы можно безопасно транспортировать. Попав в место назначения, нанотрубки раскрываются с одного конца и выпускают свое содержимое в строго определенных дозах. Это не фантастика, эксперименты такого рода уже сейчас проводятся во многих лабораториях, а операции "запаивания" и "распаивания" концов нанотрубок вполне под силу современной технологии. Уже создана нанотрубка с одним закрытым концом.

Также не исключено, что через 10-15 лет на базе этой технологии будет проводиться лечение заболеваний: скажем, больному вводят в кровь заранее приготовленные нанотрубки с очень активными ферментами, эти нанотрубки собираются в определенном месте организма некими микроскопическими механизмами и "вскрываются" в определенный момент. Современная технология уже практически готова к реализации такой схемы через 3-5 лет. Основной проблемой является отсутствие эффективных методов "открывания" таких механизмов и их интеграции в белковые маркеры для поиска клеток-мишеней.

Возможно, создадут и более эффективные методы доставки лекарств на основе вирусов и нанокапсул. На основе нанотрубок также создан конвейер, способный точно транспортировать отдельные атомы с большими скоростями вдоль нанотрубки.

12.4. Ультрадисперсные наноматериалы

Рассмотренные выше фуллерены и нанотрубки из-за своих сверхмалых размеров относятся к ультрадисперсным. ***Дисперсность*** – это степень раздробленности вещества на частицы. Чем меньше размер отдельной частицы, тем выше дисперсность. Большинство веществ окружающего нас мира существуют в виде дисперсных систем, например, грунты и почвы, многие технические материалы (песок, различные порошки и т.д.), некоторые продукты (соль, сахар, крупа). По степени дисперсности частицы можно разделить на грубодисперсные, высокодисперсные (или коллоидные), размер которых колеблется в пределах от 10^{-5}-10^{-7} м) и ультрадисперсные (соответственно, нанометрового порядка). Повышенный интерес ученых к наноматериалам объясняется тем, что уменьшение дисперсности частиц какого-либо вещества может приводить к заметным изменениям их свойств. Так, еще в XIX веке Майкл Фарадей, впервые создав коллоидную суспензию золота, состоящую из крошечных частиц этого металла, обнаружил, что ее цвет менялся на фиолетовый, что свидетельствует об изменении отражающих свойств суспензии при уменьшении размеров частиц. В последнее

время стало известно, что наночастицы серебра имеют антибактериальный эффект, что делает их полезными для лечения многих болезней. Это свойство серебра еще в древности заметили служители церкви, используя серебро для приготовления "святой воды". Но в виде наночастиц антибактериальная активность серебра повышается в тысячи раз!

Такие углеродные наночастицы, как фуллерены и нанотрубки, своими удивительными свойствами тоже подтверждают тот факт, что многие вещества в наноформе не ведут себя так же, как в обыкновенном виде. Это объясняется тем, что с уменьшением размеров частиц увеличивается интенсивность их взаимодействия с окружающей средой, что и приводит к изменению их газонасыщенности, окисленности, токсичности, взрывоопасности, плотности и т.д. по сравнению со свойствами тех же материалов в обычной форме. Отличие свойств малых частиц от свойств массивного материала известно уже достаточно давно и используется в разных областях техники. Примерами могут служить широко применяемые аэрозоли, красящие пигменты, получение цветных стекол благодаря окрашиванию их коллоидными частицами металлов. Малые частицы и наноразмерные элементы используются для производства различных авиационных материалов. Например, в авиации применяются радиопоглощающие керамические материалы, в матрице которых беспорядочно распределены ультрадисперсные металлические частицы.

Суспензии металлических наночастиц (обычно железа или меди) размером от 30 нм используют как присадки к моторным маслам для восстановления изношенных деталей автомобильных и других двигателей непосредственно в процессе работы. Ультрадисперсные материалы обычно не встречаются в природе в свободном состоянии, а представляют собой искусственный продукт. В настоящее время существует большое количество способов измельчения веществ, например: механическое дробление (для получения различных порошков), резание (получение стружки), измельчение в шаровых, вибрационных и вихревых мельницах, измельчение ультразвуком и др.

Наночастицы производятся и при помощи нанотехнологии, в частности, туннельно-зондовыми методами, использующими возможности современных сканирующих микроскопов манипулировать отдельными атомами. И, конечно же, большие успехи в этом направлении будут достигнуты после создания ассемблеров - сборщиков атомных структур.

12.5. Дальнейшее развитие нанотехнологий: проблемы и перспективы

Благодаря прорыву в области производства микроскопов, современные ученые могут манипулировать атомами и располагать их так, как им заблагорассудится. Такого еще не было за всю историю развития человечества!

Идеальная техническая система – это система, масса, габариты и энергоемкость которой стремятся к нулю, а ее способность выполнять работу при этом не уменьшается. Предельный случай идеализации техники заключается в уменьшении её размеров, (вплоть до полного "исчезновении") при одновременном увеличении количества выполняемых ею функций. В идеале – технического устройства не должно быть видно, а функции, нужные человеку и обществу должны выполняться. Закон увеличения степени идеальности гласит: развитие всех систем идет в направлении увеличения степени идеальности. На практике хорошей иллюстрацией этого закона может служить постоянное стремление производителей микроэлектроники и бытовой техники к миниатюризации, созданию устройств всё меньших размеров, со все большими функциональными возможностями. Взять, например, те же сотовые телефоны или ноутбуки: размер все уменьшается, в то время как функциональность только растет. Таким образом, нанотехнологий и наноустройства являются закономерным шагом на пути совершенствования технических систем. И, возможно, не последним: за областью нановеличин лежат области пико (10^{-12}), фемто (10^{-15}), атто (10^{-18}) и т.д. величин, с еще неизвестными и непредсказуемыми свойствами... В настоящее время на рынке

продаются только скромные достижения нанотехнологии – такие как самоочищающиеся ткани и упаковки, позволяющие дольше сохранять свежими продукты питания. Однако ученые предсказывают триумфальное шествие нанотехнологии в недалеком будущем, опираясь на факт её постепенного проникновении во все отрасли производства. Нанотехнология станет основой новой промышленной революции, которая приведет к созданию устройств в 100 раз более прочных, чем сталь и не уступающих по сложности человеческим клеткам. Уже создаются, и будут создаваться устройства, основанные на новейших материалах с необычными свойствами. Благодаря обработке на атомарном уровне, привычные материалы будут обладать улучшенными свойствами, постепенно становясь все легче, прочнее и меньше по объему. Согласно прогнозу большинства ученых, это произойдет уже через 10-15 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Так кто же такой «инженер»? С одной стороны, это лицо, создающее проекты будущих технических систем или процессы их эксплуатации, ремонта, ликвидации, модернизации по воле заказчика. Заказчиком может быть организация, физическое лицо, общество в целом, сам инженер и т.п., и т.д. В своей деятельности инженер стремится к достижению пользы для заказчика. При этом он использует свои знания, умения и понимание для достижения этой цели.

Многие полагают, что большинство решений инженер находит, стоя у чертёжной доски. Это далеко не так. Большую часть своего времени инженер наводит справки, знакомится с литературой, изучает требования, обменивается мнениями, подбирает сотрудников. Поэтому умение поддерживать хорошие отношения с людьми и успешно сотрудничать с ними играет большую роль в работе инженера.

Важную часть работы инженера составляют определение и оценка новых технических задач (праксеология). Инженер должен определить, как люди будут применять разработанные им приборы (психология). Он обязан также предвидеть тот эффект, который вызовет появление в продаже, например, механической зубной щётки (маркетинг). Таким образом, деятельность инженера в большой степени зависит от нужд общества (социология), признания полезности его изобретений и того, как эти изобретения помогают людям (история техники). Эта заинтересованность вместе с экономической стороной деятельности инженера делают его работу не столь уже сугубо технической.

Существует мнение, будто инженер большую часть своего времени делает то, чем обычно занимается техник или механик, или даже лаборант. Отнюдь нет! Инженеру чаще приходится мыслить абстрактно, обдумывать факты, вычислять и сопоставлять и реже иметь дело с конкретными приборами. Более того, макет разработанного инженером прибора собирают техники, поэтому даже в этом случае инженеру не всегда удаётся "поработать руками".

Таким образом, инженер имеет дело не только с техническими системами (устройствами и технологическими процессами), но и с их описаниями. Он преобразует эти описания от неясных требований заказчика к чётким и однозначным, например, чертежам. При этом он использует наработанные в инженерном деле процедуры инженерной деятельности в соответствии с принятым регламентом.

Профессиональный портрет инженера автоматически задаёт требования к системе обучения, на его базе составляется картина инженерного образования XXI века.

Инженер (с точки зрения производства) должен уметь: эксплуатировать / ремонтировать, проектировать и ликвидировать технологические процессы и устройства.

Для чего он должен уметь: ставить задачи / находить задачи, прогнозировать, изобретать и принимать решения по технике / по внедрению техники.

Для этого он должен знать: корпус наук (технических, естественных, общественных), методы упомянутых умений, способы смены схем деятельности, в т.ч. познавательной, среду существования техники (жизнь и культуру общества, историю общества, экономики, техники).

Понимать место своей работы и её последствия, как проявляемые в полезных функциях, созданных им технических системах, так и в нежелательных эффектах.

Предприятиям нужны профессионалы, способные примениться к смене профиля предприятия, воссоздать его заново, запустить или модернизировать изделие. Инженер должен знать науки, уметь изобретать, конструировать, эксплуатировать, внедрять, понимать ход событий в промышленности и на рынке, своё место, свою ответственность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования, М., 2000. 25 с.

2. Воронежский государственный технический университет / автор-составитель М.И. Кутарев. – Воронеж: Кварта, 2006. 416 с.: ил.

3. Электронный ресурс http://www.viol.uz

4. Шухардин С.В. Техника в ее историческом развитии (70-е годы XIX – начало XX в.) / С.В. Шухардин, Н.К. Ламан, А.С. Федоров. М.: Наука, 1982. 510 с.: ил.

5. Валетов В.А. Основы производства радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие / В.А. Валетов. СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. 112 с.: ил.

6. Бородин С.М. Общие вопросы проектирования радиоэлектронных средств: учеб. пособие / С.М. Бородин. Ульяновск: УлГТУ, 2007. 103 с.: ил.

7. Овчинников В.А. Проектирование печатных плат: учеб. пособие / В.А. Овчинников, А.Н. Васильев, В.В. Лебедев. Тверь: ТГТУ. 2005. 116 с.: ил.

8. Информационные технологии проектирования РЭС. Ч. 1: Основные понятия, архитектура, принципы: учеб. пособие / Ю.Л. Муромцев, Л.П. Орлова, Д.Ю. Муромцев, В.М. Тютюнник. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. 96 с.: ил.

9. Технология проектирования печатных плат в САПР P-CAD-2006: учеб. пособие / Н.Ю. Иванова, А.С. Петров, В.И. Поляков, Е.Б. Романова. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 168 с.: ил.

11. Ганькин А.В. Применение системы OrCAD при проектировании средств измерений / А.В. Ганькин. Пенза: Пензенский гос. ун-т, 2004. 23 с.

12. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / К.А. Басов под общ. ред. Д.Г. Красковского. М.: КомпьютерПресс, 2002. 224 с.: ил.

13. Крик Э. Введение в инженерное дело, М.: Энергия, 1970, 176 с.: ил.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

1. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования 4

1.1. Общая характеристика направления подготовки дипломированного специалиста “Проектирование и технология электронных средств” 4

1.2. Требования к уровню подготовки абитуриента 10

1.3. Общие требования к основной образовательной программе подготовки дипломированного специалиста по направлению “Проектирование и технология электронных средств” 10

1.4. Требования к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по направлению подготовки дипломированного специалиста “Проектирование и технология электронных средств” 11

1.5. Сроки освоения основной образовательной программы подготовки дипломированных специалистов по направлению “Проектирование и технология электронных средств” 39

1.6. Требования к разработке и условиям реализации основной образовательной программы по направлению подготовки дипломированного специалиста “Проектирование и технология электронных средств” 40

1.7. Требования к уровню подготовки дипломированного специалиста по направлению “Проектирование и технология электронных средств” 46

2. Главные этапы развития ВГТУ 49

2.1. Рождение многопрофильного технического вуза 49

2.2. Воронежский вечерний машиностроительный институт (28.08.1956 – 17.07.1958) 51

2.3. Воронежский вечерний политехнический институт (17.07.1958 – 19.06.1962) 54
2.4. Воронежский политехнический институт (19.06.1962 – 22.11.1993) 56
2.5. Воронежский государственный технический университет (22.11.1993 – настоящее время) 57
2.6. Административная структура ВГТУ 58
3. Радиотехнический факультет 65
3.1. Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры (КИПРА) 66
3.2. Кафедра радиоэлектронных устройств и систем (РЭУС) 67
4. История радио. Летопись от первых упоминаний до середины XIX века 68
5. Развитие техники телеграфирования 84
5.1. Совершенствование телеграфной связи 84
5.2. Автоматическое телеграфирование 87
5.3. Многократное телеграфирование 90
5.4. Дуплексное телеграфирование 93
5.5. Развитие идеи частотного телеграфирования 94
6. Появление и развитие телефонии 96
6.1. Изобретение телефона 99
6.2. Развитие систем телефонной коммутации 108
7. Изобретение радиосвязи и начальный этап радиотехники 115
7.1. Возникновение и развитие радиотелефонирования 127
8. Развитие полупроводниковой электроники 132
9. Печатные платы и их типы 146
9.1. Односторонние печатные платы 147
9.2. Двухсторонние печатные платы 148
9.3. Многослойные печатные платы 149
9.4. Гибкие печатные платы 151
9.5. Рельефные печатные платы 153

9.6. Методы контроля печатных плат 154
10. Общие вопросы проектирования РЭС 161
10.1. Роль инженера-конструктора в современном радиоаппаратостроении 161
10.2. Основные понятия и определения процесса проектирования 164
10.3. Конструктивная иерархия РЭС 170
10.4. Проблемы проектирования и оптимизации конструкции РЭС 171
10.5. Основные этапы проектирования РЭС и их характеристика 173
11. Общие сведения о САПР РЭС 176
11.1. Применение ЭВМ для автоматизации проектирования РЭС 176
11.2. Общие сведения о системе САПР РЭС OrCAD 180
11.3. Общие сведения о системе автоматизированного проектирования электроники P-CAD 188
11.4. Общие сведения об автоматизированной системе инженерных расчетов ANSYS 197
11.5. Программный комплекс Pro/ENGINEER для сквозного параллельного проектирования и подготовки производства 201
12. Нанотехнологии в радиоэлектронике: сегодняшний день и перспективы развития 215
12.1. Общие сведения о нанотехнологии 215
12.2. Оборудование нанотехнологии 221
12.3. Фуллерены и углеродные нанотрубки 231
12.4. Ультрадисперсные наноматериалы 239
12.5. Дальнейшее развитие нанотехнологий: проблемы и перспективы 241
Заключение 243
Библиографический список 245