

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Омский государственный технический университет»

В. И. Левченко

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА: ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

*Учебное текстовое электронное издание
локального распространения*

Омск
Издательство ОмГТУ
2017

УДК 621.37:621.38:621.39

ББК 32

ЛЗ4

Рецензенты:

Ю. Ф. Дятлов, ведущий специалист АО «Омский приборостроительный завод им. Н. Г. Козицкого»;

Б. Г. Шадрин, канд. техн. наук, начальник сектора АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения»

Левченко, В. И.

ЛЗ4 Радиоэлектроника: введение в специальность : конспект лекций / В. И. Левченко ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017.

ISBN 978-5-8149-2476-6

Описаны область, объекты и виды профессиональной деятельности бакалавров и специалистов по направлениям подготовки в области радиоэлектроники, их профессиональные задачи и необходимые компетенции. На основе анализа истории и современных тенденций развития различных направлений радиоэлектроники освещены закономерности, связывающие теоретические и практические достижения в отраслях инфокоммуникаций, приборостроения, радиотехники и электроники.

Конспект лекций предназначен студентам направлений 11.03.01 «Радиотехника», 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств», 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», 11.05.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи» очной и заочной форм обучения. Может быть использован при подготовке бакалавров направления 12.03.01 «Приборостроение».

УДК 621.37:621.38:621.39

ББК 32

*Рекомендовано редакционно-издательским советом
Омского государственного технического университета*

ISBN 978-5-8149-2476-6

© ОмГТУ, 2017

1 электронный оптический диск

Оригинал-макет издания выполнен в Microsoft Office Word 2007/2010 с использованием возможностей Adobe Acrobat Reader.

Минимальные системные требования:

- процессор Intel Pentium 1,3 ГГц и выше;
- оперативная память 256 Мб и более;
- свободное место на жестком диске 260 Мб и более;
- операционная система Microsoft Windows XP/Vista/7/10;
- разрешение экрана 1024×768 и выше;
- акустическая система не требуется;
- дополнительные программные средства Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше.

Редактор *К. В. Муковоз*
Компьютерная верстка *Л. Ю. Бутаковой*

Сводный темплан 2017 г.
Подписано к использованию 30.06.17.
Объем 4,71 Мб.

Издательство ОмГТУ.
644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12
Эл. почта: info@omgtu.ru

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Введение в специальность» относится к базовой части дисциплин подготовки бакалавров и специалистов в соответствии с основными образовательными программами по направлениям 11.03.01 «Радиотехника», 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств», 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» и 11.05.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи».

Целью изучения дисциплины «Введение в специальность» является получение студентами представлений об особенностях профессиональной деятельности бакалавров и специалистов в областях радиоэлектроники и электронного приборостроения, о необходимых компетенциях для успешного осуществления этой деятельности, об истории и тенденциях развития науки и техники в соответствующих отраслях, о выдающихся ученых, инженерах и изобретателях, а также приобретение начальных знаний об электронной компонентной базе, технологиях и основных параметрах радиоэлектронных систем, характеризующих эффективность и качество их функционирования. В процессе изучения дисциплины студенты должны приобрести навыки самостоятельной работы с источниками научно-технической информации, уметь составлять обзоры и презентации на заданную тему. Усвоение дисциплины способствует приобретению студентами общекультурных и общепрофессиональных компетенций, умения выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе их будущей профессиональной деятельности.

Дисциплина «Введение в специальность», преподаваемая в первом семестре предшествует изучению студентами следующих дисциплин профессионального цикла: «Общая теория связи», «Схемо- и системотехника электронных схем», «Электронная техника», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Основы теории радиотехнических цепей и сигналов», «Научно-исследовательская работа» и др.

Тема 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАКАЛАВРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

1.1. ОБЛАСТИ, ОБЪЕКТЫ И ВИДЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Области профессиональной деятельности, в которых востребованы бакалавры, специалисты и магистры всех направлений радиоэлектроники и приборостроения, – это создание и обеспечение функционирования устройств и систем, основанных на использовании электромагнитных колебаний и волн, электронной компонентной базы, в том числе микро- и наноэлектроники, и предназначенных для передачи, приема и обработки информации, получения информации об окружающей среде, о природных и технических объектах, а также для управления различными техническими объектами во всех сферах народного хозяйства и обороны страны.

Объектами профессиональной деятельности бакалавров и специалистов направлений радиоэлектроники и приборостроения являются:

- радиотехнические системы, комплексы, устройства и их компоненты, методы и средства их моделирования и проектирования, экспериментальной отработки, подготовки к производству и технического обслуживания;
- системы и устройства радиосвязи, спутниковой и радиорелейной связи, телекоммуникационные системы оптического диапазона, системы и устройства подвижной радиосвязи, интеллектуальные информационные системы и технические средства защиты информации;
- средства метрологического обеспечения радиоэлектронных устройств и систем, методы и способы контроля и измерения их технических параметров, автоматизации процессов производства, контроля качества и обслуживания электронных средств;
- электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования, технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование.

Профессиональная деятельность бакалавров и специалистов в области радиоэлектроники может быть условно разбита на следующие виды деятельности:

- научно-исследовательская;

- проектно-конструкторская;
- производственно-технологическая;
- организационно-управленческая;
- монтажно-наладочная;
- сервисно-эксплуатационная.

На практике часто специалисту-радиоэлектронщику приходится заниматься не одним, а несколькими видами деятельности. Так, например, получив задание или самостоятельно выдвинув инновационную идею, инженер-разработчик проводит предварительные научные исследования, осуществляет проектирование, разработку функциональных и принципиальных схем, затем самостоятельно или с привлечением конструкторов и технологов производит разработку конструкторско-технологической документации, участвует в подготовке производства, а после изготовления опытного образца участвует в его предварительных и приемочных (государственных) испытаниях, при проведении которых осуществляется монтажно-наладочная и эксплуатационная деятельность. В связи с этим в процессе изучения данной дисциплины студенту полезно получить некоторые основные сведения не только из сферы своего выбранного направления подготовки, но также по всей группе специальностей, относящихся к радиоэлектронике.

1.2. ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ВЫПУСКНИКА

Компетенция – заранее заданное социальное требование (норма) к образовательной подготовке выпускника, необходимой для его эффективной продуктивной деятельности в определенной сфере.

В федеральных образовательных стандартах [1] приведены три класса компетенций: универсальные, общепрофессиональные и профессиональные. Каждый класс компетенций, в свою очередь, предусматривает различные *категории* компетенций.

Универсальные компетенции (УК):

- *категория «Системное и критическое мышление»:*

УК-1. Способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач;

- категория «Разработка и реализация проектов»:

УК-2. Способность определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений;

- категория «Командная работа и лидерство»:

УК-3. Способность осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде;

- категория «Коммуникация»:

УК-4. Способность осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном(ых) языках;

- категория «Межкультурное взаимодействие»:

УК-5. Способность воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах;

- категория «Самоорганизация и саморазвитие»:

УК-6. Способность управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов *образования в течение всей жизни*.

УК-7. Способность поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности;

- категория «Безопасность жизнедеятельности»:

УК-8. Способность создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций.

Общепрофессиональные компетенции (ОПК):

- категория «Научное мышление»:

ОПК-1. Способность использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности;

- категория «Исследовательская деятельность»:

ОПК-2. Способность самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных;

- категория «Владение информационными технологиями»:

ОПК-3. Владеть методами поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источ-

ников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности;

- категория «Компьютерная грамотность»:

ОПК-4. Способность применять современные компьютерные технологии для подготовки текстовой и конструкторско-технологической документации с учетом требований нормативной документации.

Перечень профессиональных компетенций (ПК) выпускника для каждого направления подготовки университет устанавливает самостоятельно с учетом примерной основной образовательной программы (ПООП) и содержания обобщенных трудовых функций соответствующих профессиональных стандартов, а также при необходимости на основе анализа требований к компетенциям, предъявляемых к выпускникам данного направления подготовки на рынке труда, проведения консультаций с ведущими работодателями.

Компетенции специалистов в области специальных радиотехнических систем приведены в соответствующем федеральном государственном образовательном стандарте [1].

1.3. ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ И ЗАДАЧИ БАКАЛАВРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ

Согласно современным требованиям, предъявляемым к вузам при разработке образовательных программ, профессиональные компетенции выпускников должны соответствовать определенным профессиональным стандартам, которые применяются на предприятиях и организациях-работодателях.

Профессиональный стандарт представляет собой характеристику профессиональных *навыков, умений и знаний*, необходимых для осуществления профессиональной деятельности, содержание конкретных трудовых функций, ранжированных по уровням квалификации в зависимости от сложности и ответственности выполняемой работы.

Содержание профессиональных стандартов по направлениям специализации приведено в реестре профессиональных стандартов на специализированном сайте Минтруда РФ «Профессиональные стандарты» [2] и конкретизируется в должностных инструкциях предприятий.

Профессиональные стандарты, по состоянию на 2017 г., относящиеся к рассматриваемым нами направлениям подготовки в области радиоэлектроники, приведены в табл. 1.1.

Сокращения наименований направлений в данной таблице приведены в соответствии с шифрами соответствующих студенческих групп: РТ – радиотехника, ИС – инфокоммуникационные технологии и системы связи, КР – конструирование и технология электронных средств, ЭН – электроника и нанoeлектроника.

Таблица 1.1

Соответствие профессиональных стандартов и направлений подготовки

Наименование профессионального стандарта	РТ	ИС	КР	ЭН
Инженер-радиоэлектронщик	+	+	+	+
Специалист по радиосвязи и телекоммуникациям	+	+	-	-
Инженер технической поддержки в области связи (телекоммуникаций)	+	+	-	-
Инженер связи (телекоммуникаций)	+	+	-	-
Инженер-проектировщик в области связи (телекоммуникаций)	-	+	-	-
Инженер-конструктор аналоговых сложнофункциональных блоков	+	-	+	+
Специалист по технической поддержке информационно-коммуникационных систем	-	+	-	-
Специалист по администрированию сетевых устройств информационно-коммуникационных систем	-	+	-	-
Специалист по разработке технологий и программ для оборудования с числовым программным управлением	-	-	+	-
Инженер в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле	-	-	+	+
Регулировщик радиоэлектронной аппаратуры и приборов	-	-	+	
Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники	-	-	+	+
Специалист по проектированию и обслуживанию чистых производственных помещений для микро- и нанoeлектронных производств	-	-	-	+
Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники	-	-	-	+
Инженер-технолог в области производства наноразмерных полупроводниковых приборов и интегральных схем	-	-	-	+
Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков	-	-	-	+
Инженер-конструктор в области производства наногетероструктурных СВЧ-монокристаллических интегральных схем	-	-	-	+

Структура профессионального стандарта, предусматривающая три ступени детализации требований профессиональной деятельности, приведена на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Структура профессионального стандарта

Каждая из *основных трудовых функций* состоит из ряда более детализированных *трудовых функций*, которые характеризуются, в свою очередь, необходимыми *трудовыми действиями, умениями и знаниями*.

Очевидно, что формирование у студента *необходимых знаний* на первом этапе его учебно-профессиональной деятельности осуществляет вуз, а *необходимые умения* формируются в процессе всех видов практик, в том числе на предприятиях.

Далее рассмотрим детализацию основных трудовых функций, основные необходимые знания и умения ряда профессиональных стандартов, являющихся общими для двух или более направлений подготовки в области радиоэлектроники. Остальные предлагается изучить самостоятельно (см. [2]).

1.3.1. Профессиональный стандарт «Инженер-радиоэлектронщик»

Данный стандарт является общим для всех направлений подготовки. Утвержден приказом Минтруда России от 19.05.2014 г. № 315н.

В разработке стандарта принимали участие ведущие предприятия отраслей радиоэлектроники и связи, а также специализированные университеты, в том числе:

- Санкт-Петербургская Ассоциация предприятий радиоэлектроники, приборостроения, средств связи и инфотелекоммуникаций (СПбАПРЭ), г. Санкт-Петербург;

- АО «НИИ «Вектор», г. Санкт-Петербург;

- АО «Завод радиотехнического оборудования», г. Санкт-Петербург;

- АО «Лентелефонстрой», г. Санкт-Петербург;

- ФГУП РСВО филиал «Санкт-Петербургские сети вещания и оповещения», г. Санкт-Петербург;

- Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ), г. Самара;

- Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ), г. Новосибирск.

Наименование вида профессиональной деятельности: разработка, проектирование, исследование и эксплуатация радиоэлектронных средств и радиоэлектронных систем различного назначения.

Обобщенные трудовые функции, описываемые данным стандартом, разделены на три группы, обозначенные кодами А, В, С, при этом по мере перехода от А к С требования к теоретической (фундаментальной) подготовке специалиста, к его творческим способностям и изобретательности возрастают.

Код А. Производство, внедрение и эксплуатация радиоэлектронных средств и радиоэлектронных систем различного назначения, в том числе:

- наладка, настройка, регулировка и испытания радиоэлектронных средств и оборудования;

- тестирование, обслуживание и обеспечение бесперебойной работы радиоэлектронных средств и радиоэлектронных систем различного назначения;

- обеспечение организационно-методической базы для обслуживания радиоэлектронных средств и оборудования.

Требования к образованию специалистов по данной группе трудовых функций – бакалавриат или среднее профессиональное образование.

Основные необходимые умения:

- применять новые методы и технологии в области радиотехники, электроники и телекоммуникаций;
- владеть современными отечественными и зарубежными пакетами программ для решения схемотехнических, системных и сетевых задач;
- работать с современными средствами измерения и контроля, радиоэлектронными приборами (РЭП);
- работать с проектной, конструкторской и технической документацией;
- владеть правилами и методами монтажа, настройки и регулировки узлов радиотехнических устройств и систем;
- оценивать техническое состояние радиоэлектронного оборудования.

Необходимые основные знания:

- стандарты в области разработки и постановки изделий на производство, общих технических требований, контроля качества продукции, единая система конструкторской документации (ЕСКД), стандарты системы менеджмента качества;
- технология производства в отрасли;
- используемые технические средства, перспективы их развития и модернизации;
- методы и средства контроля работы радиоэлектронного оборудования;
- достижения науки и техники в области разработки и производства радиоэлектронного оборудования в России и за рубежом;
- принципы, методы и средства выполнения расчетов и вычислительных работ;
- основы экономики, организации производства, труда и управления персоналом;
- правила и нормы охраны труда, техники безопасности, производственной санитарии и противопожарной защиты;
- технический английский язык на уровне чтения специализированной литературы.

Код В. Разработка и проектирование радиоэлектронных средств (РЭС) и радиоэлектронных систем различного назначения, в том числе:

- разработка и согласование технических заданий на проектирование, программ и методик испытаний радиоэлектронных устройств и систем;

- разработка структурных и функциональных схем радиоэлектронных систем и комплексов, принципиальных схем устройств с использованием средств компьютерного проектирования, проведением проектных расчетов и технико-экономическим обоснованием принимаемых решений;
- подготовка конструкторской и технической документации, включая инструкции по эксплуатации, программы испытаний и технические условия;
- наладка, испытания и сдача в эксплуатацию опытных образцов радиоэлектронных устройств и систем.

Требования к образованию: бакалавриат, специалитет или магистратура.

Основные необходимые умения: кроме тех умений, которые требуются специалистам уровня А, разработчики и проектировщики РЭС должны уметь:

- проводить сбор, анализ и систематизацию научно-исследовательской информации и исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и устройств радиотехнических систем;
- проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектов;
- осуществлять патентный поиск;
- формулировать цели и задачи проектирования радиоэлектронных устройств и систем;
- отбирать оптимальные проектные решения на всех этапах проектного процесса от технического задания до производства изделий;
- разрабатывать техническое задание, требования и условия на проектирование радиоэлектронных устройств и систем;
- разрабатывать и оформлять конструкторскую и техническую документацию в соответствии с действующими нормативными документами;
- осуществлять расчет электрических цепей для определения параметров радиокомпонентов монтируемых схем;
- составлять технологические и тестовые программы, реализовывать программы испытаний.

Необходимые основные знания: кроме знаний, которые необходимы специалистам уровня А, разработчики и проектировщики РЭС должны знать:

- нормативные материалы и государственные стандарты в области разработки и проектирования радиоэлектронных устройств и систем;

- технические характеристики и экономические показатели отечественных и зарубежных разработок в области радиоэлектронной техники;
- основные методы конструирования и технологии производства радиоэлектронной техники;
- основы схемотехники;
- законы построения и методики расчета электрических схем;
- методики расчета электрических цепей для определения параметров радиокомпонентов монтируемых схем;
- основную аппаратуру для измерения характеристик радиотехнических цепей и сигналов;
- современную элементную базу;
- основы изобретательства и рационализаторства;
- современные компьютерные средства, средства коммуникации и связи;
- специальную научно-техническую и патентную литературу по тематике исследований и разработок.

Код С. Проведение исследований в целях совершенствования РЭС различного назначения, в том числе:

- анализ научно-технической проблемы на основе подбора и изучения литературных и патентных источников;
- математическое и компьютерное моделирование радиоэлектронных устройств и систем с целью оптимизации (улучшения) их параметров;
- разработка методов приема, передачи и обработки сигналов, обеспечивающих рост технических характеристик радиоэлектронной аппаратуры;
- проведение аппаратного макетирования и экспериментальных работ по проверке достижимости технических характеристик, планируемых при проектировании радиоэлектронной аппаратуры;
- контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.

Требования к образованию: специалитет, магистратура или аспирантура.

Основные необходимые умения: кроме умений, которые требуются специалистам уровней А и В, инженеры, занимающиеся проведением научных

исследований в области радиоэлектронных систем и средств, должны уметь:

- осуществлять методологическое обоснование научного исследования;
- организовывать проведение патентных исследований, экспериментов и испытаний;
- осуществлять математическое и компьютерное моделирование радиоэлектронных устройств;
- анализировать результаты научных исследований;
- составлять аналитические обзоры и научно-технические отчеты по результатам выполненной работы, оформлять результаты исследований и разработок в виде презентаций, публиковать статьи, доклады.

Необходимые основные знания: кроме знаний, которые необходимы специалистам уровней А и В, инженеры, занимающиеся проведением научных исследований в области РЭС, должны знать:

- принципы, средства и методы построения физических, математических и компьютерных моделей объектов научных исследований;
- основные логические методы и приемы научного исследования и инженерного творчества;
- методологические теории и принципы современной науки и техники;
- современные отечественные и зарубежные пакеты программ для решения схемотехнических, системных и сетевых задач;
- принципы подготовки и проведения научных исследований и технических разработок;
- процедуры и принципы проведения научных экспериментов и испытаний;
- методику и требования к оформлению научно-технической отчетности по результатам выполненных исследований;
- требования и принципы управления объектами интеллектуальной собственности.

При осуществлении трудовых функций по всем группам должно выполняться условие *периодического повышения квалификации*.

1.3.2. Профессиональный стандарт «Специалист по радиосвязи и телекоммуникациям»

Стандарт утвержден приказом Минтруда России от 19.05.2014 г. № 318н и предусматривает в качестве *основной цели профессиональной деятельности* обеспечение эксплуатации и развития систем радиосвязи и телекоммуникационных систем, включая коммутационные подсистемы и сетевые платформы, сети радиодоступа, транспортные сети и сети передачи данных, спутниковые системы связи.

Разработчик стандарта: ОАО «МТС», г. Москва.

Обобщенные трудовые функции состоят в эксплуатации и развитии коммутационных подсистем и сетевых платформ (код А), сетей радиодоступа (код В), транспортных сетей и сетей передачи данных, включая спутниковые системы (код С).

Трудовые функции, определяемые данным стандартом, и требуемый уровень теоретической подготовки различаются в зависимости от видов деятельности – эксплуатация или развитие (разработка, модернизация) систем и устройств.

Основные необходимые умения для эксплуатации связного оборудования:

- выполнять плановые, регламентные и профилактические работы на действующем оборудовании транспортных сетей и сетей передачи данных;
- собирать и анализировать данные о работе сетей радиосвязи и применяемого в них оборудования;
- выполнять работы на оборудовании по замене программного обеспечения, реализации новых услуг и сервисов;
- выявлять, регистрировать и устранять неисправности оборудования;
- проверять функционирование оборудования после восстановления и ввода в эксплуатацию.

Основные необходимые умения для развития связного оборудования:

- анализировать трафик, статистику, проводить расчет интерфейсов внутренних направлений сети;
- выполнять расчет пропускной способности сети;
- вырабатывать решения по оперативному переконфигурированию сети, изменению параметров коммутационной подсистемы, сетевых платформ и оборудования, изготовленного по новым технологиям;

- изменять параметры коммутационной подсистемы, маршрутизации трафика, прописки кодов маршрутизации, организации новых и расширения имеющихся направлений связи;

- регистрировать новые сетевые элементы и коды пунктов сигнализации;

- готовить технические условия на присоединение к сетям связи других организаций связи и выдавать технические условия на присоединение к собственным сетям связи.

Основные знания, необходимые для *эксплуатации* связного оборудования:

- принципы построения и работы сети связи и протоколов, используемых в сетях связи;

- методы анализа качественных показателей работы оборудования связи и сетей как на основе данных статистики, так и на основе радиоизмерений;

- основы технической эксплуатации оборудования связи и сетевых платформ;

- нормативные документы, регламентирующие эксплуатацию объектов связи.

Основные знания, необходимые для выполнения работ по *развитию* систем и средств связи и телекоммуникаций:

- основные принципы построения и работы сетей и средств связи;

- процедуры и принципы частотно-территориального и кодового планирования;

- основные алгоритмы и методы обработки статистических данных;

- стандарты качества передачи данных и голоса, применяемые в сетях связи;

- перспективы технического развития отрасли и компании;

- нормативные документы, регламентирующие строительство и эксплуатацию объектов связи.

Во всех случаях требование к образованию специалиста по радиосвязи и телекоммуникациям – *бакалавриат*.

1.3.3. Профессиональный стандарт «Инженер технической поддержки в области связи (телекоммуникаций)»

Стандарт утвержден приказом Минтруда России от 19.05.2014 г. № 317н и предусматривает в качестве *основной цели профессиональной деятельности* обеспечение надежной и качественной работы оборудования связи (телекоммуникаций).

Разработчики стандарта:

- ОАО междугородней и международной электрической связи «Ростелеком» Макрорегиональный филиал «Москва», г. Москва;
- ОАО «Московская городская телефонная сеть», г. Москва;
- Столичный филиал ОАО «МегаФон», г. Москва.

Обобщенные трудовые функции:

А. Сбор, распределение и контроль выполнения заявок на техподдержку.

В. Мониторинг состояния сети и координация устранения неисправностей.

С. Установка, настройка и обслуживание программного обеспечения телекоммуникационного оборудования.

Д. Выполнение работ по обеспечению функционирования телекоммуникационного оборудования корпоративных сетей.

Основные необходимые умения для **технической поддержки** связного оборудования:

- работать с различными операционными системами;
- работать с компьютером на уровне опытного пользователя;
- работать с различными информационными системами и базами данных;
- сверять качество предоставляемых услуг с нормативными показателями.

Основные знания, необходимые для **технической поддержки** связного оборудования:

- теоретические основы сетевых технологий;
- организация, принципы построения и функционирования сетей связи;
- основы электротехники;
- правила работы с различными информационными системами и базами данных;
- операционные системы;

- показатели использования и функционирования телекоммуникационного оборудования;
- этика делового общения.

Требование к образованию инженера технической поддержки в области связи (телекоммуникаций) – *бакалавриат*.

1.3.4. Профессиональный стандарт «Инженер-проектировщик в области связи (телекоммуникаций)»

Стандарт утвержден приказом Минтруда России от 19.05.2014 г. № 316н.

Основная цель профессиональной деятельности – создание условий для обмена информацией на расстоянии, ее обработки и хранения, в том числе технологических систем и технических средств, обеспечивающих надежную и качественную передачу, прием, обработку и хранение различных знаков, сигналов, письменного текста, изображений, звуков по проводной, радио-, оптической системам.

Разработчик стандарта: ОАО «Мегафон», г. Москва.

Среди всех стандартов в области связи данный стандарт предъявляет наиболее высокие требования к теоретической подготовке инженеров.

Обобщенные трудовые функции:

А. Проектирование объектов и систем связи, телекоммуникационных систем.

В. Проектирование систем подвижной радиосвязи.

Трудовые функции инженера-проектировщика предусматривают:

- предпроектную подготовку и разработку системного проекта объекта (системы) связи, телекоммуникационной системы;
- разработку технического и рабочего проекта объекта (системы) связи, телекоммуникационной системы;
- осуществление авторского надзора за соблюдением утвержденных проектных решений.

Основные необходимые умения:

- разрабатывать концептуальные документы по созданию и развитию систем связи (телекоммуникаций);
- выявлять и анализировать преимущества и недостатки вариантов проектных решений, оценивать риски, связанные с реализацией проекта;
- разрабатывать проектную и отчетную документацию;

- разрабатывать технические решения по объекту, системе связи (телекоммуникационной системе) и ее компонентам;
- проводить патентные исследования, проверку патентной чистоты принятых в проекте технических решений, оборудования, программного обеспечения;
- разрабатывать программы и методики испытаний объекта, системы связи (телекоммуникационной системы);
- разрабатывать и представлять презентационные материалы по проекту, выступать публично;
- использовать современные информационно-коммуникационные технологии, в том числе специализированное программное обеспечение для решения задач проектирования и проведения расчетов.

Основные знания, необходимые для выполнения работ по проектированию систем и средств связи и телекоммуникаций:

- принципы построения систем связи, телекоммуникационных систем различных типов;
- современные технические решения создания систем связи (телекоммуникационных систем) и ее компонентов, новейшее оборудование и программное обеспечение;
- современные требования по производительности, доступности, безопасности, масштабируемости, интеграции технологий, управляемости систем связи (телекоммуникаций);
- современные технические решения создания объектов и систем связи (телекоммуникационных систем) и ее компонентов, новейшее оборудование и программное обеспечение;
- перспективы технического развития отрасли связи и телекоммуникаций.

Несмотря на требуемый достаточно высокий уровень теоретической подготовки, разработчик стандарта допускает выполнение работ по проектированию систем и средств связи *бакалаврами*.

1.3.5. Профессиональный стандарт «Инженер-конструктор аналоговых сложнофункциональных блоков»

Для специалистов-разработчиков и конструкторов всех направлений радиоэлектроники и приборостроения одним из основных видов профес-

сиональной деятельности является проектирование электрических схем – аналоговая и цифровая схемотехника. Все большее распространение получает разработка электрических схем в конструктивах «система на кристалле» и «система в корпусе».

Данный стандарт утвержден приказом Минтруда России от 10.07.2014 г. № 457н, весьма актуален для различных предприятий радиоэлектронных отраслей и может применяться к выпускникам направлений «Радиотехника», «Конструирование и технология электронных схем», «Электроника и наноэлектроника».

Основная цель профессиональной деятельности – проектирование аналоговых сложнофункциональных блоков (СФ-блоков) на поведенческом, схемотехническом и топологическом уровнях описания.

Организации-разработчики стандарта:

- ЗАО «Зеленоградский нанотехнологический центр», г. Москва;
- Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва;
- ГУП НПЦ «ЭЛВИС», г. Москва;
- ЗАО «ППК Миландр», г. Москва;
- ЗАО «ИДМ плюс», г. Москва;
- АНО «Национальное агентство развития квалификаций», г. Москва.

Обобщенные трудовые функции:

А. Разработка принципиальных электрических схем отдельных аналоговых блоков и всего аналогового СФ-блока.

В. Моделирование, анализ и верификация результатов моделирования разработанных принципиальных схем аналоговых блоков и СФ-блока.

С. Разработка, физическая верификация и моделирование топологических представлений отдельных аналоговых блоков и СФ-блока.

Д. Сопровождение работ по проекту, контроль требований технического задания на аналоговый СФ-блок и отдельные аналоговые блоки.

Е. Разработка технических описаний на отдельные аналоговые блоки и комплекта конструкторской и технической документации на аналоговый СФ-блок.

Основные необходимые умения:

- владеть средствами системы автоматизированного проектирования;
- проводить оценку функциональных, статических, динамических, временных, частотных характеристик блоков методом компьютерного моделирования;

- учитывать влияние паразитных элементов, помех и шумов;
- программировать на языках высокого уровня;
- пользоваться специальным программным обеспечением для разработки проектной и конструкторской документации AutoCad;
- пользоваться нормами стандартизации, метрологии, унификации, автоматизированного проектирования.

Основные знания, необходимые для выполнения работ:

- принципы построения и функционирования аналоговых устройств;
- технические и программные средства реализации процессов проектирования;
- аналоговая схемотехника;
- математический анализ;
- частотный анализ;
- конечные и комплексные ряды Фурье;
- теория цепей;
- методы аналогового синтеза;
- методология функционально-логического синтеза цифровых устройств;
- радиотехнические цепи и сигналы;
- элементная база аналоговых и цифровых интегральных схем;
- полупроводниковая микросхемотехника;
- требования единой системы конструкторской документации;
- технический английский язык.

Требования к образованию и обучению: высшее образование – бакалавриат; дополнительные профессиональные программы – программы повышения квалификации, программы профессиональной переподготовки.

1.3.6. Профессиональные стандарты

«Инженер в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле», «Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков»

Указанные стандарты утверждены соответственно приказами Минтруда РФ от 11.04.2014 г. № 241н и от 10.07.2014 г. № 456н. В этих стандартах многие умения и знания являются близкими к приведенным в стан-

дарте «Инженер-конструктор аналоговых сложнофункциональных блоков». Стандарты предусматривают в качестве основной цели профессиональной деятельности проектирование сложнофункциональных блоков (СФ-блоков) и систем на кристалле на системном, функциональном, поведенческом, схемотехническом, логическом, физическом и топологическом уровнях описания. Ознакомиться с детальным содержанием стандартов можно в [2].

1.3.7. Профессиональный стандарт

«Инженер-технолог по производству радиоэлектронных изделий»

Важнейшей сферой деятельности в области радиоэлектроники является создание новых технологий изготовления радиоэлектронных изделий, их развитие и использование в производстве. Не будет преувеличением сказать, что именно уровень технологий определяет потенциальные функциональные возможности и потребительские свойства изделий радиоэлектроники – от компонентной базы до сложных систем.

Примером профессионального стандарта в этой сфере является стандарт под названием «Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники», утвержденный приказом Минтруда России от 31.10.2014 г. № 859н. Многие трудовые функции, знания и умения, изложенные в данном стандарте, применимы не только к сфере микроэлектроники, но также и к другим сферам радиоэлектронных производств.

Основная цель профессиональной деятельности – разработка и обеспечение технологического процесса производства изделий микроэлектроники.

В разработке стандарта приняли участие 37 предприятий, организаций и вузов России, в числе которых омские – ОмГТУ, ОмПО «Иртыш», ОАО «КБТМ», а также:

- МГТУ имени Н.Э. Баумана, г. Москва;
- МИФИ, г. Москва;
- Самарский ГТУ;
- АО «Авиакор – авиационный завод», г. Самара;
- АО «АК «Туламашзавод», г. Тула;
- АО «Камов», г. Люберцы, Московская область;
- АО «Концерн «Вега», г. Москва;
- АО «НИИМЭ и Микрон», г. Москва, Зеленоград;

- АО «Производственное объединение «Севмаш», г. Северодвинск;
- АО «Роствертол», г. Ростов-на-Дону;
- АО «ЦКБ «Точприбор», г. Новосибирск.

Обобщенные трудовые функции, указанные в стандарте, так же как и в профессиональном стандарте инженера-радиоэлектронщика (п. 1.3.1), по мере возрастания к уровню базовой подготовки специалиста распределены по трем кодовым группам: А, В и С.

Код А. Организация и контроль технологического процесса выпуска изделий, в том числе:

- составление операционного маршрута изготовления изделий;
- разработка и корректировка технологической и нормативной документации на изготовление изделий;
- контроль организации, подготовки и технического оснащения рабочих мест на участках производства;
- контроль технологической дисциплины на участках производства изделий;
- контроль параметров качества изделий микроэлектроники и анализ причин брака.

Требования к образованию специалистов по кодовой группе А – бакалавриат или среднее профессиональное образование.

Основные необходимые умения:

- выявлять основные технологические задачи, решаемые при разработке технологического процесса;
- анализировать возможности технологического и контрольного оборудования;
- разрабатывать операционные маршруты изготовления изделий низкой и средней сложности;
- заполнять маршрутные карты изготовления изделий;
- работать с конструкторской и технологической документацией;
- работать с контрольно-измерительным оборудованием.

Необходимые основные знания:

- базовые технологические процессы производства;
- типовые оборудование и инструменты, применяемые в технологическом процессе;

- правила эксплуатации технологического оборудования и технологической оснастки;
- основные материалы, используемые в производстве изделий микроэлектроники;
- стандарты, технические условия и другие нормативные и руководящие материалы по оформлению маршрутных и операционных карт для всех типов технологических процессов производства изделий микроэлектроники.

Код В. Разработка, внедрение новых и выработка рекомендаций по корректировке существующих технологических процессов, в том числе:

- разработка технических заданий на модернизацию существующего оборудования, технологической оснастки и средств автоматизации процессов производства;
- разработка технологической и нормативной документации для процессов производства изделий;
- выбор оборудования, технологической оснастки, средств автоматизации процессов производства;
- проведение экспериментальных работ по отработке и внедрению новых технологических процессов производства изделий;
- планирование и подготовка производственных помещений, размещение оборудования и рабочих мест на производстве изделий.

Основные необходимые умения (дополнительно к умениям группы А):

- определять требования к оборудованию, технологической оснастке, средствам автоматизации для обеспечения требуемых параметров и режимов технологических операций;
- анализировать технологические свойства материалов;
- разрабатывать конструкторскую документацию в соответствии с требованиями нормативных документов;
- разрабатывать операционные технологические процессы;
- рассчитывать погрешности выполнения технологических операций;
- анализировать технологические процессы;
- рассчитывать технологические режимы;
- нормировать технологические операции;
- рассчитывать нормы расхода сырья, полуфабрикатов, материалов, газов, реактивов, инструментов, энергии;

- рассчитывать экономическую эффективность и производительность технологического процесса;

- определять пути решения технических и технологических проблем, возникающих на рабочих местах.

Основные необходимые знания (дополнительно к знаниям группы А):

- технологический процесс производства изделий, параметры и режимы технологических операций;

- технические требования, предъявляемые к изготавливаемым изделиям;

- нормативные документы на разработку конструкторской и эксплуатационной документации;

- методы и способы контроля технических требований;

- методика проектирования технологических операций;

- технологические факторы, влияющие на точность выполнения операций;

- методика расчета технологических режимов;

- методика расчета норм времени технологических операций;

Требования к образованию специалистов по кодовой группе В – специалитет или магистратура.

Требования к опыту практической работы: опыт работы в должности инженера-технолога или инженера-технолога III категории не менее трех лет.

Код С. Разработка и внедрение новых технологических процессов и программ выпуска изделий, в том числе:

- анализ и выбор перспективных материалов, технологических процессов и оборудования для производства изделий;

- разработка и согласование технологической и нормативной документации для новых технологических процессов выпуска изделий;

- проектирование технологического оснащения участков производства;

- организация проведения экспериментальных работ по отработке и внедрению новых материалов, технологических процессов и оборудования для производства изделий;

- анализ данных экспериментальных работ, выработка рекомендаций по корректировке и оптимизации параметров и режимов технологических операций и технологических процессов для производства изделий.

Основные необходимые умения (дополнительно к умениям групп А, В):

- искать и систематизировать информацию в различных печатных и электронных источниках;
- выявлять тенденции развития научных исследований и разработок, связанных с перспективными материалами, технологическими процессами, оборудованием;
- определять критерии сравнения существующих и перспективных материалов, технологических процессов и оборудования;
- выявлять основные технологические задачи, решаемые при разработке технологического процесса;
- оперативно определять пути решения технологических проблем, возникающих в производстве;
- формулировать предложения по повышению технологичности конструкций изделий;
- анализировать передовые разработки в области оборудования и технологий;
- осуществлять патентные исследования;
- формировать конкурсные заявки на проведение НИОКР.

Основные необходимые знания (дополнительно к знаниям группы А):

- средства поиска, структурирования и систематизации информации в информационных сетях;
- методика сравнительного критериального анализа;
- методика расчета экономической эффективности технологических процессов;
- передовые технологические процессы и оборудование;
- порядок и методы проведения патентных исследований и основы изобретательства;
- методики обработки экспериментальных данных;
- методы математической статистики;
- основы планирования эксперимента;
- общие требования к испытаниям на механические, климатические воздействия и на воздействие специальных факторов.

Требования к образованию специалистов по кодовой группе С – специалист или магистратура.

Требования к опыту практической работы – опыт работы в должности инженера-технолога или инженера-технолога II категории не менее трех лет.

Контрольные вопросы к теме 1

1. Основные объекты профессиональной деятельности вашего направления подготовки.
2. Область профессиональной деятельности вашего направления подготовки.
3. Основные виды профессиональной деятельности вашего направления подготовки.
4. Что такое «компетенция»? Классификация видов компетенций выпускника.
5. Какие основные характеристики специалиста описывает профессиональный стандарт?

Список рекомендуемой литературы

1. Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования. Координационный совет учебно-методических объединений и научно-методических советов высшей школы // Портал федеральных образовательных стандартов высшего образования : [веб-сайт]. – Электрон. дан. – URL: <http://www.fgosvpo.ru/> (дата обращения: февраль 2017 г.).
2. Программно-аппаратный комплекс «Профессиональные стандарты» // Официальный сайт Министерства труда и социальной защиты РФ : [веб-сайт]. – Электрон. дан. – URL: <http://profstandart.rosmintrud.ru/> (дата обращения: февраль 2017 г.).

Тема 2

ТЕЛЕГРАФНАЯ И ТЕЛЕФОННАЯ СВЯЗЬ

Необходимость в передаче и хранении информации развивалась вместе с развитием человеческого общества. В результате реализации этой потребности возникли:

- телеграфия и телефония,
- радио и радиосвязь,
- электроника и радиоэлектроника,
- электронное приборостроение,
- компьютерная техника и Интернет, а также методы защиты информации.

2.1. ИСТОРИЯ ТЕЛЕГРАФНОЙ СВЯЗИ

Исторически именно телеграфия как способ передачи дискретной информации была первой областью связи, в которой использовались технические средства (предметы, приспособления) для увеличения дальности передачи информации по сравнению с возможностями человека (криками, жестами).

Слово «телеграф» переводится с греческого как «*тишу на расстоянии*».

До открытия электричества использовались *неэлектронные* способы телеграфирования (с помощью звука или света).

2.1.1. Передача дискретных сообщений с помощью звука

Примером звукового телеграфа, известным с древних времен, является «*барабанный телеграф*» африканских племен. Барабаны издавал два тона – высокий и низкий. Это позволяло осуществлять своеобразное *тональное кодирование* и по тональному рисунку фразы можно было судить о переданной информации.

В России известно использование *выстрелов* в качестве звуковых сигналов для передачи информации. В 1796 г. информация о начале коронации Павла I в Москве была передана в Петербург на расстояние 600 км 3000 солдатами, расставленными на расстоянии 200 м друг от друга. У каждого солдата на реакцию на выстрел соседа и производство очередного выстрела

уходило в среднем по 4 секунды. Таким образом, информация была доставлена за 3 часа, т. е. со скоростью распространения 166 м в секунду.

2.1.2. Передача дискретных сообщений оптическими способами

Еще 450 лет до н. э. древнегреческим мыслителем *Демокритом* был изобретен способ передачи информации с помощью горящих факелов. Он предложил разбить греческий алфавит на группы по пять букв и передавать с помощью факелов номер группы и номер буквы в группе. Греческий *факельный телеграф* (рис. 2.1) можно считать одним из первых оптических телеграфов.

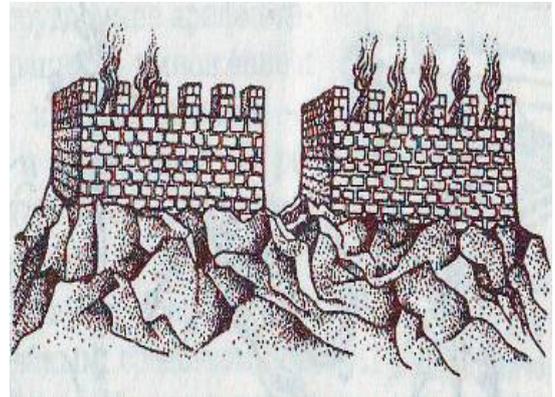


Рис. 2.1. Факельный телеграф

В 1684 г. английский ученый *Роберт Гук* предложил «безфакельный» способ оптической телеграфии. Предложенная им конструкция состояла из деревянной рамы, один угол закрывался досками и служил загородкой. За загородкой находились предметы различной формы, обозначающие буквы или целые фразы. Для передачи сообщений каждый такой предмет перемещался в пустой угол рамы и его было видно на другой станции (рис. 2.2). Для увеличения дальности Гук предложил использовать зрительные трубы. Телеграф Гука использовался в английском флоте почти до конца XVIII в.

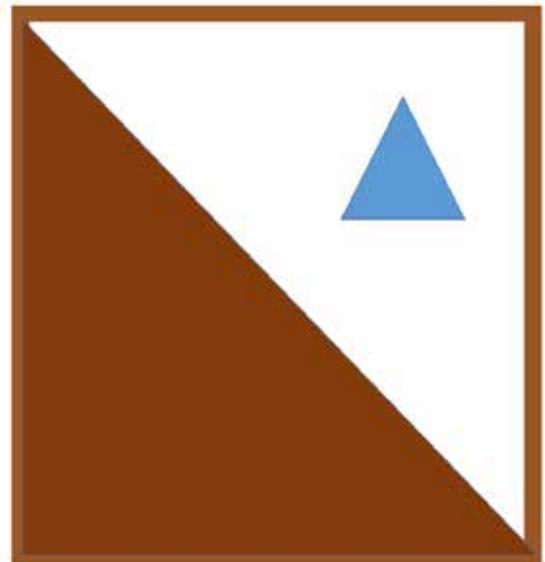


Рис. 2.2. Схема безфакельного оптического телеграфа Гука

Дальнейшим шагом в развитии безфакельных способов оптического телеграфирования явилось изобретение *семафорного телеграфа* (рис. 2.3, а), изобретенного французским механиком *Клодом Шанном* в 1780 г. В 1794 г. под его руководством была построена первая семафорная линия передачи длиной 225 км между Парижем и Лиллем (рис. 2.3, б), которая состояла из 22 станций. Всю линию сигнал проходил за 2 минуты (1875 м/с). Каждая

станция представляла собой башню, на которую устанавливалась мачта с подвижными рейками, с помощью которых можно было создавать 196 различных фигур. Ночью на сигнальных рейках зажигались огни.

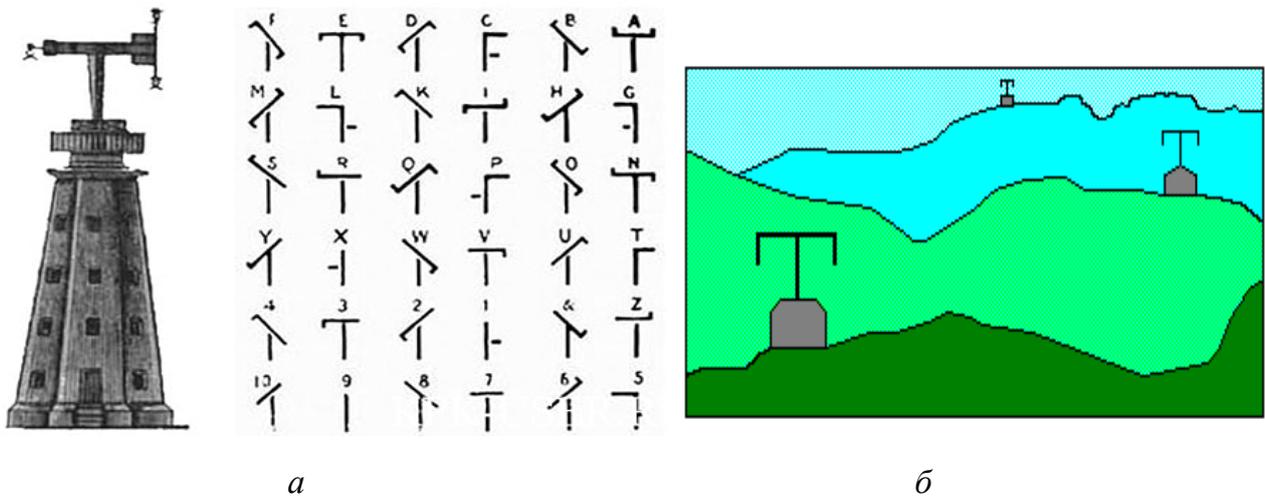


Рис. 2.3. Семафорный телеграф К. Шаппа:
 а – устройство; б – линия ретрансляции

В развитие семафорного телеграфирования весомый вклад внес и знаменитый русский изобретатель *Иван Петрович Кулибин*, который в 1794 г. дал своему варианту семафорного телеграфа название «*дальноизвещающая машина*». В этом телеграфе он применил изобретенный им фонарь с *отражающим зеркалом*. Это позволяло строить промежуточные станции на больших расстояниях и использовать телеграф даже в небольшой туман. Он также применил упрощенный код передачи сигналов, который позволял передавать не только знаки, но также слоги и даже небольшие словочетания, что существенно ускоряло процесс передачи информации. Семафорный телеграф Кулибина был использован для связи Севастополя с другими пунктами побережья Чёрного моря, но несмотря на отличное качество он не получил достаточно широкого применения, видимо из-за слабого рекламного сопровождения продукта.

Просуществовал семафорный телеграф около 50 лет вплоть до появления электрического телеграфа.

Вытесненный с ведущей роли при осуществлении дальней связи, оптический телеграф до сих пор применяется, например, на флоте для передачи сигналов с помощью флажков (рис. 2.4).

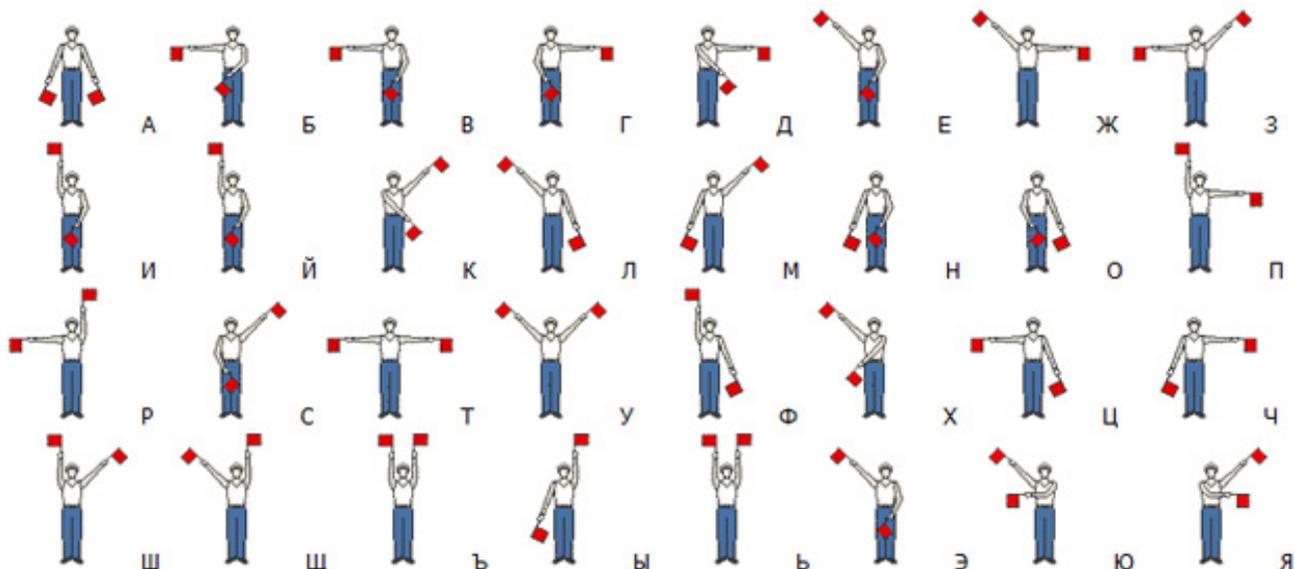


Рис. 2.4. Семафорная азбука

Для регулирования автомобильного движения широко применяется упрощенная разновидность оптического семафора – *светофор* (рис. 2.5).

Недостатки оптических методов передачи информации в открытом пространстве обусловлены зависимостью расстояния связи от расстояния прямой видимости (высоты башен или мачт), яркости или контрастности источника, силы посторонней «засветки», метеоусловий.



Рис. 2.5. Светофор

Новый виток развития оптической связи начался во второй половине XX в. с изобретением *оптоволокна*. Технология *волоконно-оптических линий связи* (ВОЛС) обеспечивает в настоящее время передачу самых больших потоков информации.

2.1.3. Передача дискретных сообщений с помощью электрических сигналов

В 1753 г. шотландский учёный *Шарль Мориссон* предложил идею проводного телеграфа с использованием *электростатической машины* (рис. 2.6). Однако практического значения такого рода телеграф не смог получить из-за неустойчивой работы, обусловленной сверхвысокими требованиями к изолирующим свойствам окружающей среды, препятствующим стеканию зарядов.

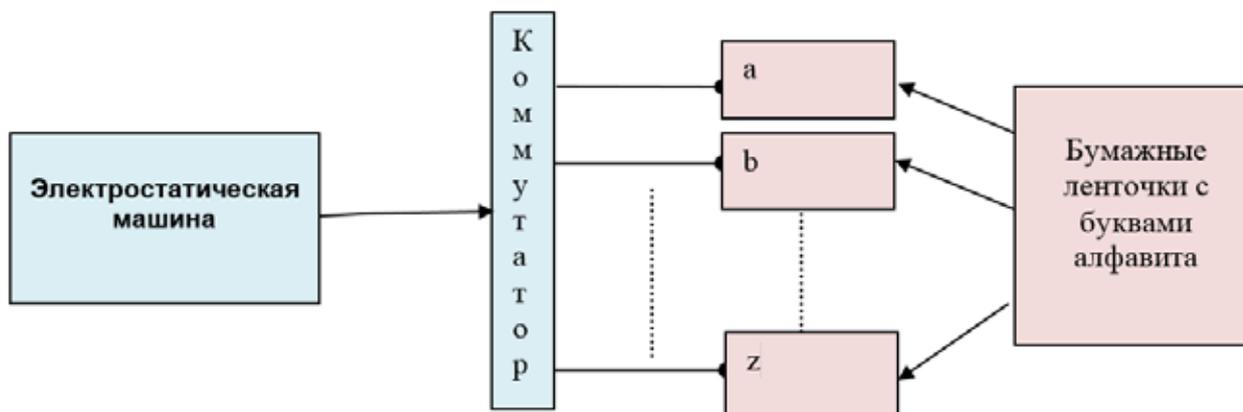


Рис. 2.6. Схема первого электростатического телеграфа

Электрическая телеграфия стала давать хорошие результаты только тогда, когда в ней стали применять не статическое электричество, а *электрический ток*.

Первый телеграф, основанный на химическом действии тока, изобрел в 1809 г. немецкий ученый *Самуил фон Земмеринг*.

Телеграф состоял из батареи и подключаемых к ней 35 проволок. Их концы на другой стороне линии связи были погружены в слабый раствор серной кислоты. При прохождении тока на одной из проволок выделялся водород в форме наблюдаемых пузырьков газа. Каждой проволоке соответствовал определенный знак, буква или цифра. Этим способом Земмеринг достиг дальности передачи информации до 3 км. Однако из-за неудобства эксплуатации электролитический (пузырьковый) телеграф Земмеринга не нашел широкого практического применения.

В 1820 г. датский физик *Ханс Кристиан Эрстед* открыл воздействие электрического тока на магнитную стрелку, а в 1832 г. русский инженер *Павел Львович Шиллинг* на основе эффекта Эрстеда и телеграфа Земмеринга изобрел *электромагнитный телеграфный аппарат*.

В отличие от аппарата Земмеринга каждый из шести проводов в этом аппарате заканчивался *катушкой индуктивности*, внутри которой на нити была подвешена *магнитная стрелка*, имеющая три положения (0, 90 и 180 градусов).

На тех же нитях были закреплены *кружки*, у которых одна сторона была окрашена в черный цвет, а другая была белой. Аппарат имел шесть пар черных и белых клавиш, с помощью которых в каждый провод можно было подать ток положительной или отрицательной полярности. Если ни-

какая клавиша не нажималась, то кружки были повернуты к оператору ребром. Если нажималась черная клавиша, то соответствующий кружок поворачивался к оператору черной стороной. Если же нажималась белая клавиша, то кружок поворачивался белой стороной. Передача сообщения шла кодированием каждой буквы положениями магнитных стрелок, а визуально – сочетаниями черно-белых кружков (рис. 2.7)



Рис. 2.7. Пример кодовой комбинации в телеграфе П. Л. Шиллинга

Таким образом, по сути П. Л. Шиллинг разработал и использовал равномерный шестirazрядный двоичный код.

21 октября 1832 г. П. Л. Шиллинг продемонстрировал работу изобретения в своей петербургской квартире на Царицыном лугу. Этот день вошел в историю мировой техники как начало развития *электромагнитной телеграфии*.

Впоследствии Шиллинг пришел к современному методу передачи сообщений по двум проводам двоичным кодом. *Двоичный неравномерный код* лег в основу всего дальнейшего развития телеграфии вплоть до изобретения *буквопечатающих телеграфных аппаратов*.

В 1837 г. английские физики *Уинстон* и *Кук* предложили *стрелочный телеграфный аппарат* с автоматической регистрацией принимаемого сообщения, состоящий из круга, по краю которого были нанесены обозначения букв и цифр (рис. 2.8). На передающей и приемной сторонах круги телеграфных аппаратов вращались синхронно посредством электрических импульсов, каждый из которых поворачивал одновременно на один шаг оба круга на передающей и приемной сторонах.



Рис. 2.8. Стрелочный телеграф Уинстона

Со временем стрелочные аппараты стали постепенно вытесняться пишущими аппаратами. Один из первых пишущих телеграфов был создан академиком Российской Императорской академии наук *Борисом Семеновичем Якоби*. Условные знаки в этом приборе записывались на движущейся фарфоровой доске карандашом, прикрепленным к якорю электромагнита (рис. 2.9).

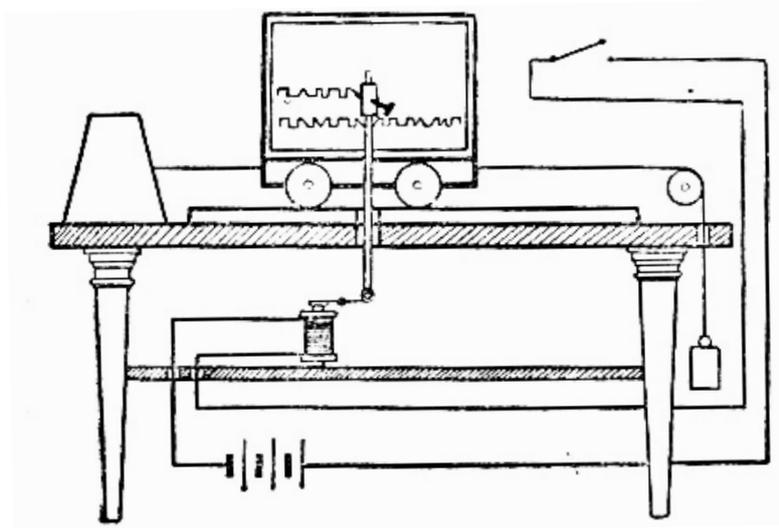


Рис. 2.9. Схема пишущего аппарата Б. С. Якоби

Академик Б. С. Якоби создал также *первый в мире буквопечатающий телеграфный аппарат*. На приемной и передающей сторонах синхронно вращались « типовые колеса », на внешних ободах которых были выгравированы буквы и цифры (рис. 2.10). Когда нужная буква на передающей стороне оказывалась внизу, то вырабатывался импульс, который на приемной стороне прижимал такое же « типовое колесо » к пишущей ленте, и она отпечатывала эту букву.

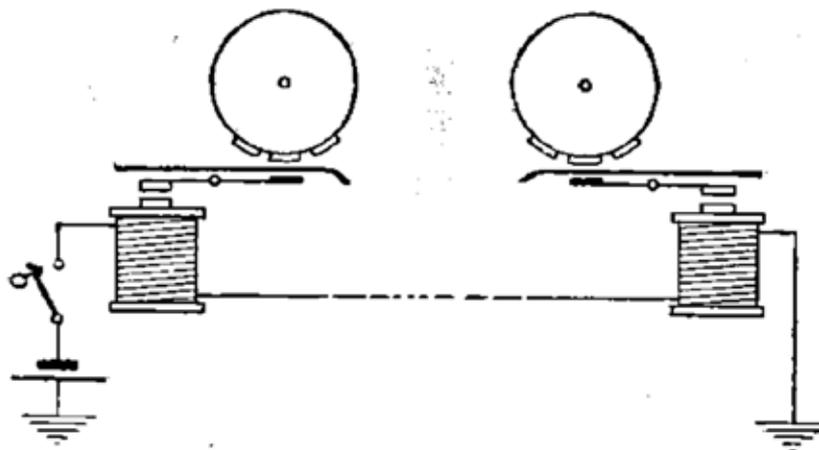


Рис. 2.10. Схема буквопечатающего аппарата Б. С. Якоби

В 1837 г. американец *Сэмюэл Морзе* изобрел *электромагнитный телеграфный аппарат с автоматической регистрацией сообщения* (рис. 2.11).

В этом аппарате с помощью электромагнита пишущее перо прижималось к движущейся бумажной ленте. Морзе предложил и особый метод кодирования, который получил название *«азбука Морзе»*, используемая и в наше время (рис. 2.12).

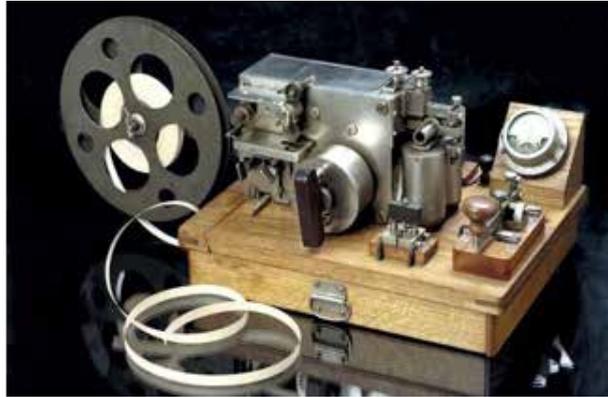


Рис. 2.11. Телеграфный аппарат Морзе

Азбука Морзе				
А •—	К —•—	Ф ••—•	1 •— — — —	•••••••
Б —•••	Л •—••	Х •••••	2 •• — — —	••—••••
В •—•—	М — — —	Ц —•—•	3 ••• — —	••—••••
Г — — ••	Н —•	Ч — — — •	4 •••• —	••—••••
Д —••	О — — — —	Ш — — — —	5 •••••	••—••••
Е •	П •—••	Щ — — •—	6 —••••	! — — •• —
Ж •••—	Р •—••	Ъ,ь —••—	7 — — •••	—••••—
З — — ••	С •••	Ы —•— —	8 — — —••	« ••••••
И ••	Т —	Э ••••	9 — — — — •	(—•—••—
Й •— — —	У ••—	Ю •••—	0 — — — — —	/ —••—•
		Я •—•—		

. _ M . _ A . _ P . _ H . _ C .
Э _ H . _ G . _ E . _ L . . _ Ъ . _ C .

Рис. 2.12. Пример текста на телеграфной ленте, переданного кодом Морзе, с расшифровкой (буквы вверху)

Код Морзе состоит из двух элементов:

«1» – воспроизводится гармонический сигнал,

«0» – сигнал отсутствует, что соответствует паузе.

Если передается один элемент «1», то это *«точка»*.

Если элемент «1» повторяется непрерывно трижды: «111», то это *«тире»*.

Один элемент «0» – *пауза между «точками» и «тире»*.

Три элемента «0», т. е. «000», – *пауза между знаками*.

Передаваться и приниматься азбука Морзе может с различной скоростью – это зависит от возможностей и опыта радистов. Обычно средней квалификации радист работает в диапазоне скоростей 60–100 знаков в минуту. Достижения по скоростным приёму-передаче находятся в диапазоне скоростей 220–260 знаков в минуту.

В мае 1844 г. под руководством Морзе была построена телеграфная линия между Вашингтоном и Балтимором общей протяженностью 65 км. По этой линии С. Морзе публично продемонстрировал передачу кодового сообщения “What hath God wrought!” («О, Господи, что ты сотворил!»). Эта первая телеграфная линия Морзе обеспечивала скорость 5 бит/с (0,5 буквы).

К началу 60-х гг. XIX в. в России работала широкая телеграфная сеть: построены линии Петербург – Москва, Петербург – Варшава, Москва – Киев, Москва – Казань и др.

С конца 60-х годов XIX в. в России широкое распространение получил телеграфный аппарат другого американского конструктора *Дэвида Эдуарда Хьюза*.

Передатчик этого аппарата имел клавиатуру типа рояля, с 28 белыми и черными клавишами, на которые были нанесены буквы и цифры (рис. 2.13). В 1865 г. аппараты Хьюза были установлены для организации телеграфной связи между Петербургом и Москвой, затем распространились по всей России. Данные устройства широко применялись вплоть до 30-х гг. XX в.



Рис. 2.13. Телеграфный аппарат Д. Хьюза

В 1874 г. французский изобретатель *Жан Морис Эмиль Бодо* создал *равномерный телеграфный код (код Бодо)*. В нем использовались два вида сигнала – «0» и «1». Длина кодовых последовательностей всех символов

была одинаковая и равна пяти. Каждая пятерка сигналов соответствовала одной букве (знаку) текста. Благодаря этой идее удалось создать буквопечатающий телеграфный аппарат, имеющий вид пишущей машинки. Нажатие на клавишу с определенной буквой приводило к формированию одной пяти-элементной кодовой комбинации, которая передавалась по линии связи.

В честь Бодо была названа единица скорости передачи информации – *бод* (1 бит/с – 1 двоичный символ: «0» или «1» в секунду). Впоследствии код Бодо был воспринят повсеместно и получил наименование *Международный телеграфный код № 1 (МТК № 1)*. Модифицированная версия кода МТК № 1 получила название *МТК № 2*.

Телеграфный трёхрегистровый код МТК-2 был принят в СССР в 1963 г. Поскольку 5-битовый код позволял передать всего 32 разные комбинации, то в коде МТК-2 был использован регистровый принцип, состоявший в том, что одними и теми же комбинациями, в зависимости от используемого регистра, передавались либо русские, либо латинские буквы, либо цифры и знаки препинания. Буквы «Ъ», «Ё» были исключены, а вместо цифры «4» использовали букву «Ч» (рис. 2.14). Для переключения между регистрами использовались три кодовые комбинации.

На перфоленте (рис. 2.15) значению «1» соответствовало наличие отверстия, а значению «0» – отсутствие отверстия.

Код	Лат.	Рус.	Циф.	Код	Лат.	Рус.	Циф.
11000	A	А	-	11101	Q	Я	1
10011	B	Б	?	01010	R	Р	4
01110	C	Ц	:	10100	S	С	'
10010	D	Д		00001	T	Т	5
10000	E	Е	3	11100	U	У	7
10110	F	Ф	Э	01111	V	Ж	=
01011	G	Г	Ш	11001	W	В	2
00101	H	Х	Щ	10111	X	Ь	1
01100	I	И	8	10101	Y	Ы	6
11010	J	Й	Ю	10001	Z	З	+
11110	K	К	(	00010		CR	
01001	L	Л	)	01000		LF	
00111	M	М	.	11111		ЛАТ	
00110	N	Н	,	11011		ЦИФ	
00011	O	О	9	00100		SP	
01101	P	П	0	00000		РУС	

Рис. 2.14. Телеграфный код МТК № 2

Русский шрифт	Е	Пробел	Т	А	И	Н	О	С	Р	Х	Д	Л	З	У	Ц	М	Ф	Й	Г	П	Ы	Б	В	К	Ж	Ь	Я					
Цифры	3	Пробел	5	-	8	,	9	'	Ч	Щ	кто там?	)	+	7	:	.	Э	Ю	Ш	0	5	?	2	Цифры	(	=	/	1	Буквы лат.	Буквы рус.		
Латинский шрифт	Е	Пробел	Т	А	И	Н	О	С	Р	Х	Д	Л	З	У	Ц	М	Ф	Й	Г	П	Ы	Б	В	К	Ж	Ь	Я					
Ведущие отверстия	1	•																														
	2	•																														
	3	•																														
	4	•																														
	5	•																														

Рис. 2.15. Телеграфный код МТК № 2 на перфоленте

Существенным недостатком кода МТК-2 являлось то, что возникновение ошибки при приеме регистровой комбинации приводило к ошибочному приему всех последующих знаков вплоть до очередной смены регистра.

Этот недостаток был уменьшен в международном коде МТК-5, принятом в 1966 г., в котором использовались 7-элементные последовательности, позволявшие создавать $2^7 = 128$ знаков, а при введении одного регистра увеличить это число до 256.

Примеры кодовых комбинаций МТК-5: 1100001 – А, 1000001 – а, 1100010 – Б, 1000010 – б и т. д., 0001110 – латинский регистр, 0001111 – русский регистр.

Совершенствование аппаратов Бодо привело впоследствии к созданию телепринтеров (телетайпов).

С 1935 г. в России широко использовались отечественные телеграфные аппараты СТ-35, а с 1967 г. – СТА-М67 (рис. 2.16).



Рис. 2.16. Телеграфный аппарат СТА-М67

В наше время телеграфная связь осуществляется по каналам частотного телеграфирования, организованного преимущественно по кабельным, радио- и радиорелейным линиям связи (рис. 2.17).

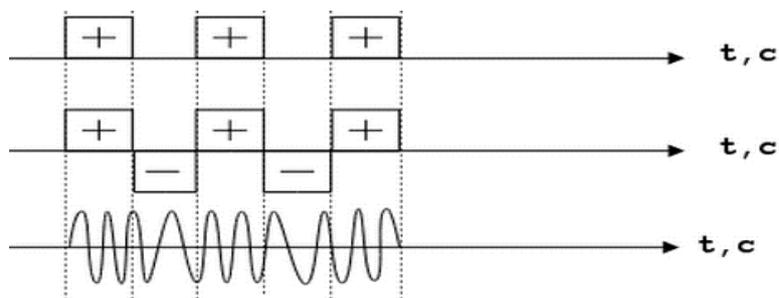


Рис. 2.17. Принцип частотной модуляции телеграфных сигналов

Основным преимуществом частотного телеграфирования явилось то, что оно позволяет в одном стандартном телефонном канале с полосой около 3 кГц организовать от 17 до 44 телеграфных каналов. Частотное телеграфирование оказалось настолько удобным, экономичным и надежным, что в настоящее время телеграфные каналы постоянного тока применяются все реже.

Тенденция развития электрической телеграфии характеризуется все большим переходом к передаче данных на основе компьютерных информационных технологий.

2.2. ИСТОРИЯ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ

2.2.1. Первый телефон А. Белла

Потребность в непосредственном живом человеческом общении на большом расстоянии в режиме реального времени привели к созданию телефонной связи.

В 1876 г. американский ученый, изобретатель и бизнесмен *Александр Грэхем Белл* запатентовал телефон, названный им «говорящий телеграф» (рис. 2.18).

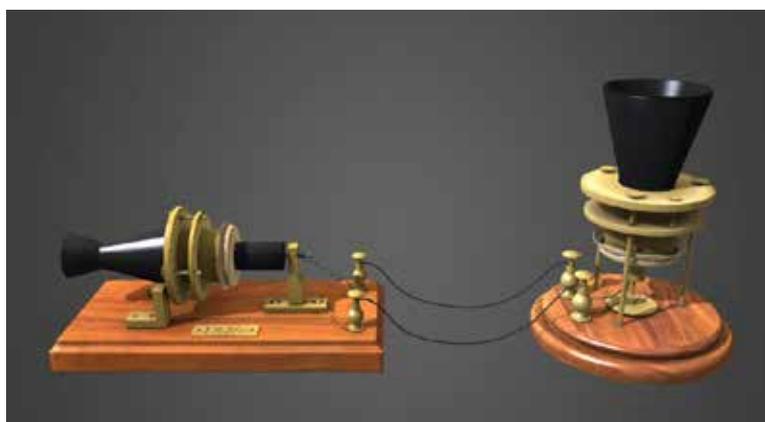


Рис. 2.18. Телефон Белла

2.2.2. Принципы действия телефонных микрофонов

В телефоне Белла использовался принцип изменения магнитного потока постоянного магнита в соответствии с колебаниями гибкой металлической мембраны микрофона (рис. 2.19). Этот магнитный поток вырабатывал электрический ток в катушке индуктивности, который по проводам передавался по линии связи и, проходя через аналогичную катушку на приемном конце, создавал переменный магнитный поток, вызывающий колебания мембраны слуховой трубки. Эффект был слабый, а поскольку усилителей тогда еще не было, дальность связи была небольшой, не более 500 м.

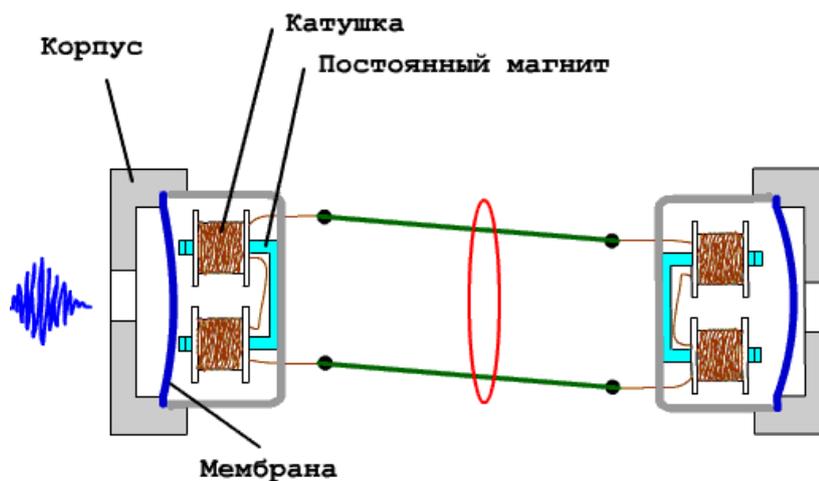


Рис. 2.19. Принцип действия телефона Белла

В 1877 г. Белл открыл первую в мире телефонную компанию «Белл Телефон Компани» и начал упорную работу по усовершенствованию своего детища. Он применил для увеличения расстояния передачи угольный микрофон и питание от батарей. В таком виде телефон благополучно существовал более ста лет.

Идея использования прессованного угля для получения микрофонного эффекта принадлежала американскому изобретателю Д. Юзу, доложившему о своем изобретении 9 мая 1878 г. (рис. 2.20).

Большой вклад в развитие телефонной связи внёс американский изобретатель Томас Эдисон. В 1878 г. он усовершенствовал телефонный ап-

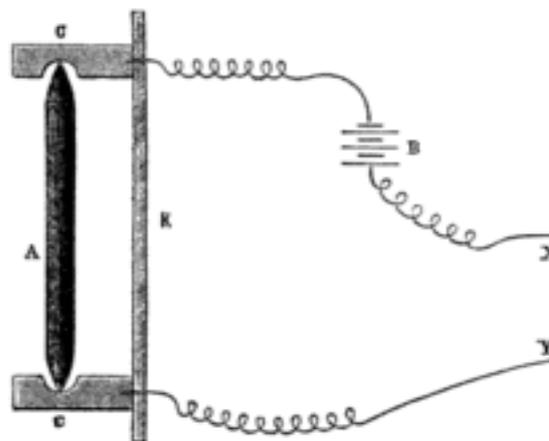


Рис. 2.20. Принцип действия угольного микрофона Юза

парат, в котором применил микрофон на основе *угольного порошка* и ввел в схему телефона индукционную катушку (рис. 2.21). Благодаря этому громкость и качество звука в тогдашних телефонных аппаратах были улучшены на порядок. Его изобретение использовалось вплоть до 1980 г.

Кстати, именно Т. Эдисон впервые предложил использовать для обращения по телефону слово “Hello” («Алло»).

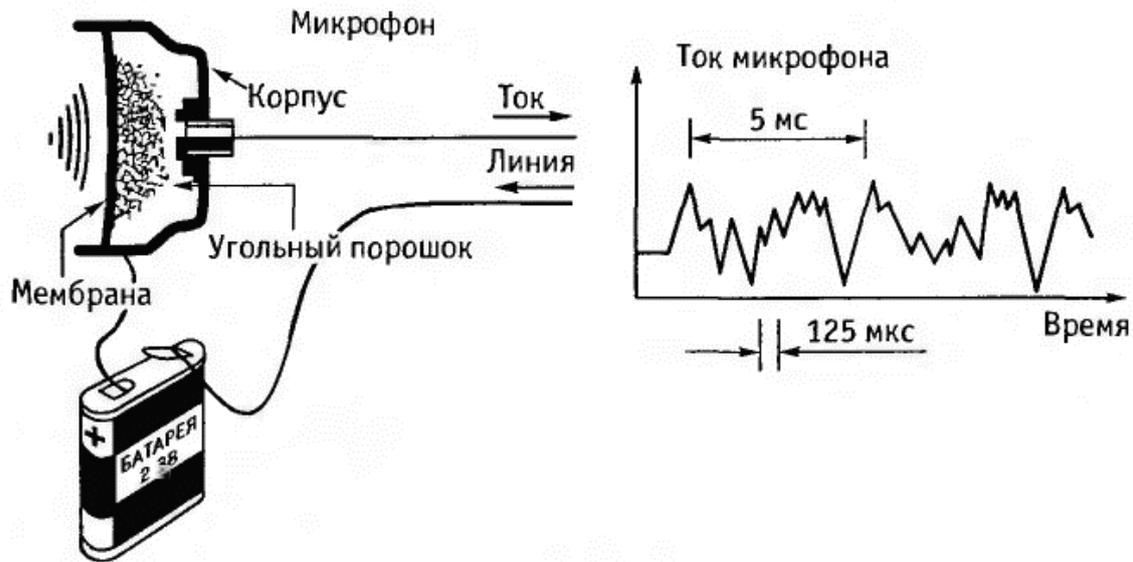


Рис. 2.21. Принцип действия угольного микрофона Эдисона

К 1900 г. число патентов различных изобретателей, связанных с телефоном, достигло 3000.

В настоящее время, кроме угольных микрофонов, уходящих в прошлое, в телефонной связи применяются электродинамические, электромагнитные, электростатические (конденсаторные и электретные) и пьезоэлектрические.

Микрофоны характеризуются следующими параметрами:

- 1) *чувствительностью;*
- 2) *номинальным диапазоном рабочих частот;*
- 3) *неравномерностью частотной характеристики;*
- 4) *характеристикой направленности;*
- 5) *уровнем собственного шума микрофона.*

Как правило, в 95 % современных телефонных аппаратов применяются *электретные* микрофоны, являющиеся разновидностью *конденсаторных* микрофонов, которые имеют повышенные электроакустические и технические характеристики (рис. 2.22).

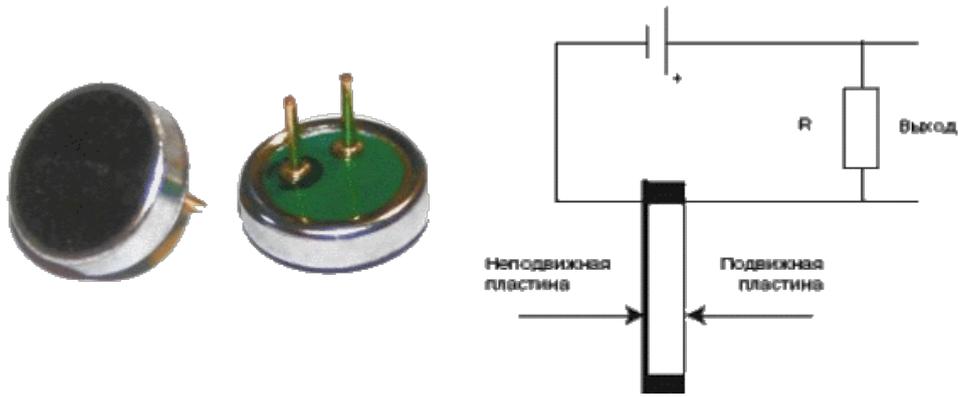


Рис. 2.22. Внешний вид и схема включения конденсаторного микрофона

На рис. 2.22 приведена схема, объясняющая принцип работы конденсаторного микрофона. Выполненные из электропроводного материала подвижная пластина (мембрана) и неподвижная пластина изолированы друг от друга и представляют собой конденсатор. Мембрана под воздействием звукового давления совершает колебательные движения относительно неподвижного электрода. Конденсатор включен в электрическую цепь последовательно с источником напряжения постоянного тока и сопротивлением R . При колебаниях мембраны ёмкость конденсатора меняется с частотой воздействующего на мембрану звукового давления. В электрической цепи появляется переменный ток той же частоты и на нагрузочном сопротивлении возникает переменное напряжение, являющееся выходным сигналом микрофона.

В электретных микрофонах постоянное напряжение обеспечивается зарядом электрета, тонким слоем нанесённого на мембрану и сохраняющего этот заряд продолжительное время (свыше 30 лет).

Пьезоэлектрические микрофоны основаны на *пьезоэффекте*, заключающемся в том, что при механическом, в том числе акустическом, воздействии на пластине *сегнетоэлектрика* возникает электрическое напряжение (рис. 2.23).

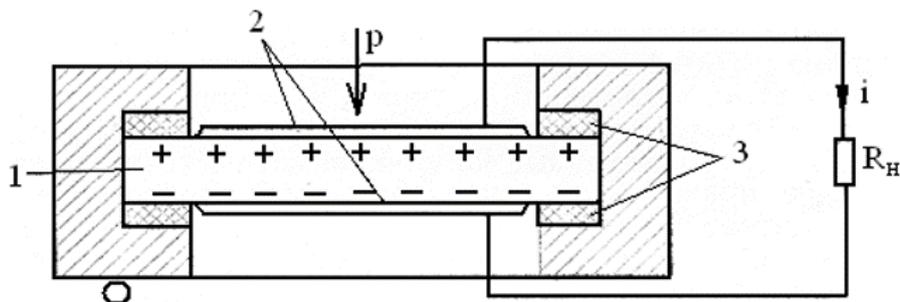


Рис. 2.23. Устройство пьезоэлектрического микрофона:
 1 – пьезоэлектрическая пластина; 2 – металлическое покрытие;
 3 – изолирующие прокладки

2.2.3. Телефонные сети

Огромное значение для развития телефонной связи имела схема телефонной станции, предусматривающая принцип электропитания от центральной батареи, предложенная в 1885 г. русским изобретателем – «отцом русского телефона» П. М. Голубицким (до этого питание было «местным» – к каждому аппарату присоединялась своя батарея). Эта система позволила создать центральные телефонные станции с десятками тысяч абонентских точек. Система АТС Голубицкого применяется до сих пор. П. М. Голубицкий сконструировал настольный телефонный аппарат с рычагом для автоматического переключения с помощью изменения положения телефонной трубки.

В 1915 г. инженер В. И. Коваленков разработал и применил в России первую *дуплексную телефонную трансляцию на триодах*. Установка на линии телефонной связи такого промежуточного усилительного пункта позволяла значительно увеличить дальность передачи.

До 70-х гг. XX столетия развитие телефонии носило эволюционный характер. Изменения системы телефонной связи имели характер количественного увеличения емкости и пропускной способности сетей и улучшения показателей качества обслуживания.

Второй период развития телефонии, начавшийся в 70-е годы XX в., внес в нее радикальные изменения.

Основой телефонии стали новые технологии:

- *электронная технология* позволила перевести все аппаратные средства телефонии на электронную элементную и технологическую базы;
- *цифровая технология* на основе представления различных видов информации в единой цифровой форме интегрировала обслуживание различных видов связи, а также объединила системы передачи и коммутации;
- *компьютерная технология*, которая привела к созданию *систем и сетей с интеграцией услуг* (ISDN – Integrated Services Digital Network), а также к *IP-телефонии*, обеспечивающей передачу речи по сетям пакетной коммутации через сеть Интернет. В 2003 г. была создана программа *Skype* (www.skype.com), совершенно бесплатная и не требующая от пользователя практически никаких знаний ни для ее установки, ни для использования. Она позволяет разговаривать в режиме видеосопровождения с собеседниками, находящимися у своих компьютеров в разных концах света.

Вот такой длинный путь в развитии средств связи проделало человечество: от сигнальных костров и барабанов до сотового мобильного телефона, который позволяет практически мгновенно связаться двум людям, находящимся в любых точках нашей планеты. При этом, несмотря на большие расстояния, у абонентов создается ощущение личного общения.

Стремительно развивается такой способ телефонии, как *мобильные сотовые сети связи*, о которых речь пойдет в отдельной лекции после того, как мы рассмотрим историю развития *радиосвязи*.

Контрольные вопросы к теме 2

1. Первые неэлектронные способы передачи телеграфной информации.
2. Исторические примеры, особенности и недостатки звуковых методов телеграфирования.
3. Исторические примеры, особенности и недостатки оптических способов телеграфирования.
4. Области использования принципа оптического семафора для передачи информации в настоящее время.
5. На чем основаны современные оптические методы передачи информации?
6. Примеры и принципы действия первых электрических телеграфных аппаратов.
7. Русский инженер-изобретатель телеграфного аппарата с использованием эффекта воздействия электрического тока на магнитную стрелку.
8. Особенности кода Морзе.
9. Изобретатель, именем которого названы единица скорости передачи информации и изобретенный им код.
10. Принцип действия оптического телеграфа Шаппа и недостатки первых оптических телеграфов.
11. Принцип действия электрического телеграфа Шиллинга.
12. Особенности телеграфных кодов МТК-2 и МТК-5. Использование регистрового принципа при кодировании.
13. Принцип частотной телеграфии.
14. Принцип действия первого телефона А. Белла.
15. Принципы действия микрофонов Юза и Эдиссона.
16. Принципы действия конденсаторного, электретного и пьезоэлектрического микрофонов.

17. Основные характеристики микрофонов.
18. Новые технологии и тенденции развития телефонии.

Список рекомендуемой литературы

1. Штыков, В. В. Введение в радиоэлектронику : учебник и практикум для вузов / В. В. Штыков. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2016. – 271 с.
2. История связи и перспективы развития телекоммуникаций : учеб. пособие / Ю. Д. Украинцев, М. А. Цветов. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – 128 с.
3. Введение в специальность «Радиоэлектронные системы» / И. В. Вознесенский [и др.] ; под ред. В. П. Митрохина. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 64 с.
4. Марченко, М. В. Системы документальной электросвязи : учеб. пособие по дисциплине «Системы документальной электросвязи» для студентов дневной формы обучения специальности 200900 «Телекоммуникации» / М. В. Марченко. – Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 90 с.
5. Левченко, В. И. Введение в специальность «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» [Электронный ресурс] : конспект лекций / В. И. Левченко. – Изд-во ОмГТУ, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
6. История связи : информ. дайджест / Архангельский колледж телекоммуникаций (филиал) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. – Архангельск, 2011. – Режим доступа: <http://do.znate.ru/docs/index-14052.html> (дата обращения: февраль 2017 г.).
7. Цвєрава, Г. К. Михайло Пупин: к 135-лєтїю со дня рожденїя и 90-лєтїю изобрєтенїя способа дальней телефонной связи / Г. К. Цвєрава // Электросвязь : ежемес. науч.-техн. журн. по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию. – 1990. – № 1. – С. 45–47.
8. Васильєва, Т. С. Компания Белла в истории телекоммуникаций России / Т. С. Васильєва // ЭИС. Электросвязь: история и современность. – 2007. – № 2. – С. 4–8.
9. Яроцкий, А. В. Создатель телеграфного кода, основоположник электромагнитной телеграфии: к 200-лєтїю со дня рожденїя П. Л. Шиллинга / А. В. Яроцкий // Электросвязь : ежемес. науч.-техн. журн. по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию. – 1986. – № 7. – С. 60–63.
10. Яроцкий, А. В. Россия – родина электромагнитного телеграфа / А. В. Яроцкий // Электросвязь : ежемес. науч.-техн. журн. по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию. – 1982. – № 10. – С. 2–11.

Тема 3 РАДИОСВЯЗЬ

3.1. ИСТОРИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ РАДИО

3.1.1. Научно-технические предпосылки для изобретения радио

Радиосвязь как способ передачи информации на большие расстояния без проводов с помощью радиосигналов имеет огромное значение. Особенно это важно при осуществлении связи с подвижными объектами, когда проводные или оптические каналы вообще не могут быть реализованы.

История радио связана с именами многих ученых и инженеров. До начала XX в. термин «радио» как средство связи еще не применялся. Использовались другие, в частности «беспроволочная телеграфия», «сигнализация без проводов» и т. п.

В цепи основных событий, предшествовавших появлению практически применимых радиоустройств, отметим следующие.

Электромагнитная индукция. В начале XIX в. английский физик *Майкл Фарадей* открыл связь электрических и магнитных явлений – *электромагнитную индукцию* – и предсказал наличие в природе *электромагнитных волн*, которые распространяются в пространстве. Однако экспериментально подтвердить наличие электромагнитных волн Фарадей лично не успел. В честь М. Фарадея была названа единица измерения электрической емкости в системе СИ – фарад.

Колебательный контур. В 1853 г. английский физик *Уильям Томсон* показал, что электрическая цепь, состоящая из емкости и индуктивности, имеет резонансную частоту F , на которой при параллельном соединении сопротивление переменному току максимально, а при последовательном – минимально.

Такая цепь была названа «контур Томсона» (рис. 3.1). Резонанс колебаний в этом контуре определяется формулой

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где L – индуктивность катушки, Гн;

C – емкость конденсатора, Ф.

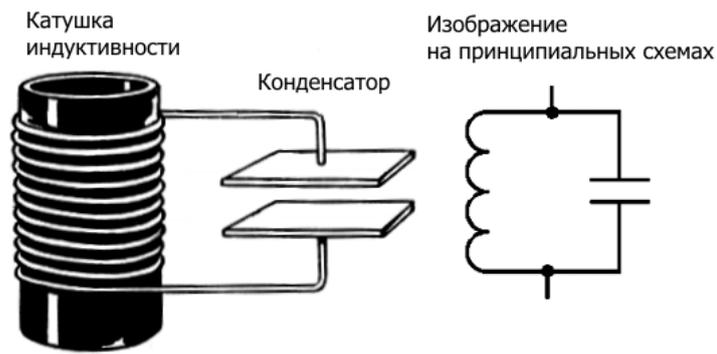


Рис. 3.1. Колебательный контур

Впоследствии колебательный контур стал использоваться для настройки радиопередатчиков или радиоприемников на заданную частоту, что позволило исключить взаимные помехи различных радиостанций.

Теория электромагнитного поля. Английский физик *Джеймс Клерк Максвелл* в 1865 г. высказал гипотезу о том, что свет имеет электромагнитную природу.

В 1873 г. Максвелл опубликовал «Трактат по электричеству и магнетизму», в котором развил и дополнил идеи Фарадея и создал законченную теорию электромагнитного поля. Он вывел уравнения, описывающие распространение электромагнитного поля в пространстве, его связь с электрическими зарядами и токами в вакууме и сплошных средах.

Уравнения Максвелла положены в основу теории распространения электромагнитных волн. Важность уравнений Максвелла неопределима. Спустя полтора века, они сохраняют фундаментальное значение для электродинамики. Причем за эти годы в них не потребовалось ничего изменить или добавлять.

На рис. 3.2 показано, что в соответствии с теорией Максвелла электромагнитная волна распространяется в направлении оси z , при этом электрическая составляющая волны E и магнитная составляющая волны B взаимно перпендикулярны и, в свою очередь, они же перпендикулярны направлению распространения электромагнитной волны v . В вакууме скорость этого распространения равна скорости света.

Согласно теории Максвелла переменные электрические и магнитные поля не могут существовать по отдельности: изменяющееся магнитное поле порождает электрическое поле, а изменяющееся электрическое поле порождает магнитное.

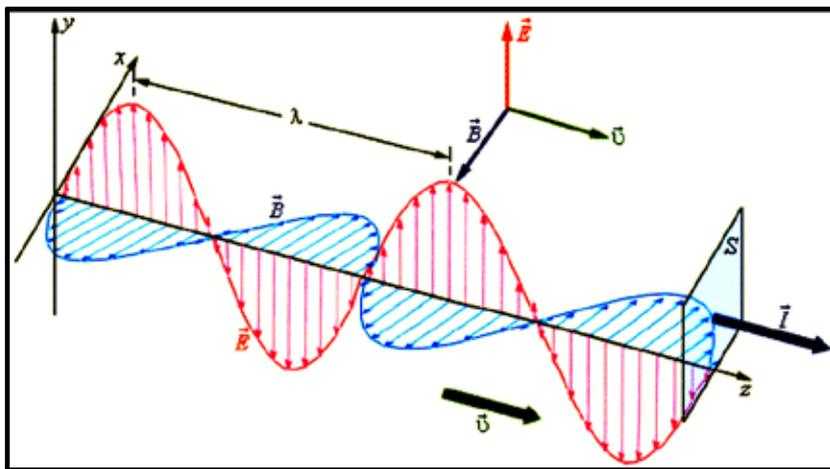


Рис. 3.2. Иллюстрация распространения электромагнитного поля

Теория Максвелла соединила электрические и магнитные явления со световым в одно целое – в понятие *электромагнитного поля*.

Машинный радиотелеграф. В 1885 г. известный изобретатель *Томас Эдв. Эдисон* получил патент США на беспроводной телеграф (радиотелеграф) для связи с кораблями на море.

На береговых станциях размещалась вертикальная антенна *A1*, а на кораблях – Г-образная *A2*. Источником переменного тока (несущей частоты) для питания антенны служил генератор в виде вращающегося прерывателя *П* с трансформатором *Тр*. Модуляция несущей частоты осуществлялась телеграфным ключом *К* (рис. 3.3). Сигналы принимались на телефон *Т*. Это был не телефон Белла, а детектор-телефон специальной конструкции – «электромотограф», изобретенный Эдисоном в 1879 г.

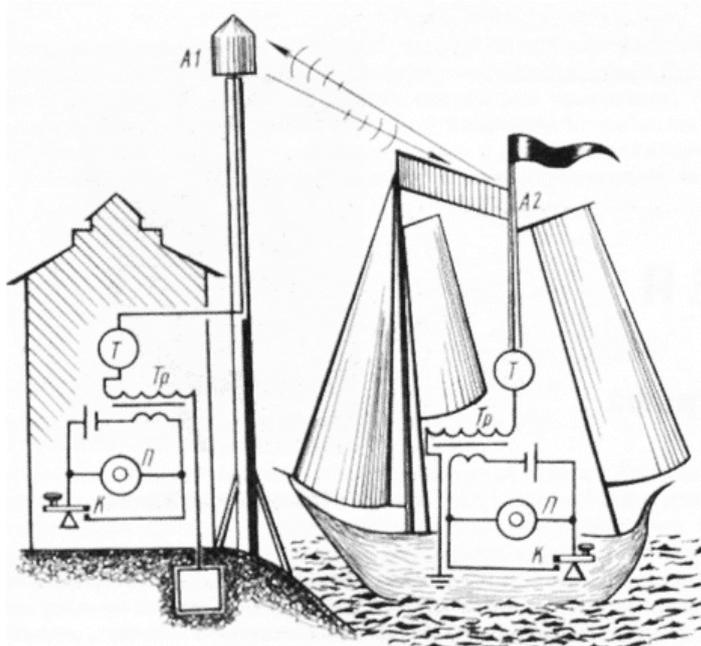


Рис. 3.3. Схема беспроводного телеграфа Эдисона

По сути это было первое официально оформленное изобретение способа и устройства беспроводного телеграфирования, появившееся до опубликования работ Герца и Попова и получившее значительное распространение в первой трети XX в. Из-за ограниченной скорости вращения прерывателя радиосигнал имел низкую частоту, лежащую в звуковом диапазоне (длинные и сверхдлинные радиоволны) с длиной волны десятки км.

Тем не менее связь была без проводов, и впоследствии в 1903 г. Г. Маркони был вынужден приобрести патент Эдисона для того, чтобы получить право на деятельность в США его Компании беспроводных телеграфов.

Предложенный Эдисоном вариант конструкции генератора переменного тока (прерывателя) не позволял получить большие мощности и освоить достаточно высокие частоты радиодиапазона.

Первые генераторы со сравнительно высокими частотами, имевшие роторы с обмотками, разработал Н. Тесла в США в 1889 г. Частота несущей достигла 15 кГц, но все равно была весьма низкой.

В России передатчики с машинными генераторами разрабатывались В. П. Вологдиным и С. М. Айзенштейном с 1912 г., гораздо позже изобретения высокочастотного искрового радио А. С. Поповым. На основе машинных генераторов высокой частоты, сконструированных В. П. Вологдиным, был построен ряд мощных длинноволновых радиостанций. Машинные передатчики действовали до 1937 г. В дальнейшем машины были вытеснены электронными лампами.

Вибратор Герца. В 1888 г. немецкий физик *Генрих Герц* экспериментально подтвердил теорию Максвелла и измерил *скорость света*.

Он продемонстрировал, что радиоизлучение обладает всеми свойствами волн, которые стали называть *радиоволнами*.

Г. Герц впервые использовал отражающие металлические параболические зеркала для концентрации излучения радиоволн в определенном направлении. В качестве антенн Герц использовал *рамочный резонатор* и *линейный вибратор* с искровыми промежутками.

Демонстрационные опыты проводились Герцем на расстоянии 10 м.

Передающий вибратор Герца состоял из двух проводников, расположенных продольно, с шариками на концах (рис. 3.4). Расстояние между ближними шариками составляло 3–7 мм. При подаче со вторичной обмот-

ки трансформатора на проводники импульсного высоковольтного напряжения (несколько десятков киловольт) между ближними шариками возникла электрическая искра. Во время действия искры в проводниках протекал высокочастотный ток, частота которого зависела от индуктивности и емкости проводников, и на резонансной частоте происходило излучение электромагнитных волн.

В качестве приемника Герц использовал кольцо с разрывом и разрядными шариками на концах разрыва. Расстояние между шариками было очень маленьким – несколько десятых долей миллиметра.

При приеме электромагнитного излучения между разрядными шариками приемника возникала слабая искра, которую можно было увидеть только в темноте.

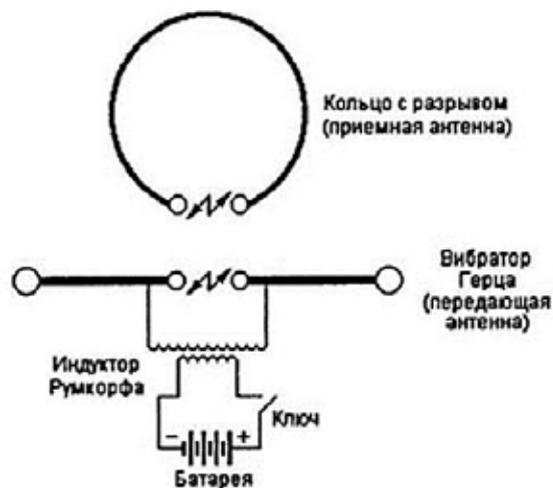


Рис. 3.4. Схема опытной установки Герца для подтверждения наличия радиоволн

Генрих Герц умер в расцвете творческих сил, в возрасте 37 лет. За свою короткую жизнь он сделал очень много. Ему удалось измерить длины электромагнитных волн, доказать наличие их отражения, преломления, дифракции, интерференции и поляризации. После этого электромагнитные волны стали называть «лучами Герца». Работы Г. Герца создали необходимые предпосылки для возникновения *радиотехники*.

До сих пор «*вибратор Герца*», или «*диполь Герца*», применяется как простейшая классическая антенна.

Его именем названа единица частоты – *герц (Гц)* – одно колебание в секунду.

Когерер. В начале 90-х годов XIX в. французским физиком *Эдуардом Бранли* было обнаружено, что электропроводность металлического по-

рошка увеличивается при воздействии электромагнитных волн. Металлическим порошком наполовину заполнялась горизонтальная стеклянная трубочка с двумя электродами на концах. После встряхивания порошка его сопротивление электрическому току было большим. Под действием электромагнитных волн сопротивление порошка резко уменьшалось из-за «склеивания» («спекания») его частиц. Для восстановления исходного большого сопротивления порошок требовалось встряхнуть вновь.

Используя этот эффект, английский физик *Оливер Лодж* в 1889–1890 гг. создал индикатор электромагнитного излучения, заменив название «трубка Бранли» на «когерер» (дословно – сцеплятель, спекатель) (рис. 3.5).

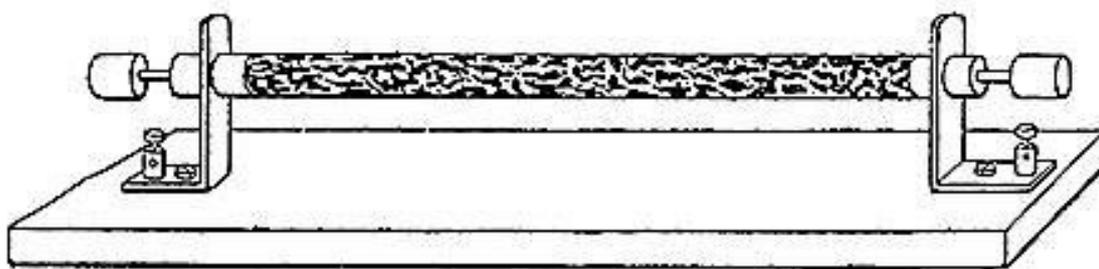


Рис. 3.5. Когерер Лоджа

С помощью этого индикатора О. Лодж провел ряд экспериментов, подтвердивших и развивших результаты Г. Герца. При этом ему пришлось использовать специальное механическое устройство для непрерывного встряхивания когерера, чтобы он постоянно был готов к регистрации электромагнитного излучения.

О. Лодж исследовал физические процессы, возникающие в когерере под воздействием электромагнитного поля и был в одном шаге от изобретения радиосвязи. Однако он считал эту идею бесполезной и дальнейших исследований в области ее практического применения проводить не стал.

3.1.2. Изобретение А. С. Попова

7 мая 1895 г. русский физик и электротехник, профессор *Александр Степанович Попов* на заседании Русского физико-химического общества продемонстрировал работу устройства, предназначенного для приёма и регистрации электромагнитных волн.

Прибор реагировал электрическим звонком на посылки электромагнитных колебаний, которые генерировались вибратором Герца.

По сравнению с прибором Лоджа Попов внёс в конструкцию принципиальные усовершенствования.

В радиоприёмнике Попова молоточек, встряхивавший когерер (трубку Бранли), работал не от часового механизма, а от принимаемых радиоимпульсов, точнее, это был молоточек электрического звонка.

Созданный А. С. Поповым прибор был вполне пригоден для использования в качестве *радиоприемного устройства для практической беспроводной телеграфии*. Сам Попов вначале приспособил прибор для улавливания атмосферных электромагнитных волн, назвав его «*грозоотметчик*».

7 мая 1895 г. считается в нашей стране днём рождения радио – одного из величайших изобретений XIX века.

Рассмотрим схему приемника Попова (рис. 3.6).

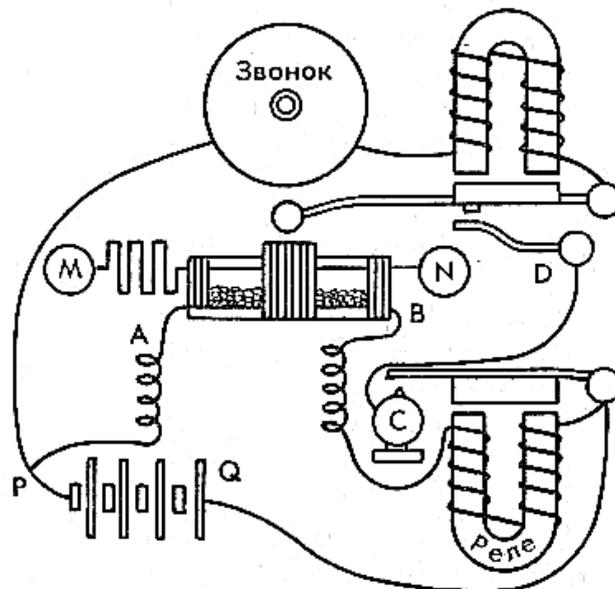


Рис. 3.6. Схема приемника А. С. Попова

К входу когерера (N) подсоединен кусок проволоки (M), выполняющий функцию приемной антенны. Туда же на вход когерера в точку А присоединяется отрицательный полюс Р батареи PQ. Обмотка чувствительного реле одним концом подсоединена к положительному полюсу Q батареи PQ, другой конец подсоединен к выходу когерера в точку В. Обмотка реле электрического звонка одним концом подсоединена к клемме Р батареи, другой конец подсоединяется через контакты D, С и якорь чувствительного реле к положительному полюсу Q батареи. Контакт D в исходном состоянии при неработающем звонке замкнут на якорь звонка.

Работает приемник следующим образом. При отсутствии электромагнитной волны когерер находится в режиме ожидания сигнала, в этом случае когерер имеет большое сопротивление (тысячи Ом), и ток, протекающий через когерер и обмотку чувствительного реле, практически отсутствует. Чувствительное реле не срабатывает, так как якорь не притягивается и контакт С разомкнут.

При приходе радиосигнала сопротивление когерера резко падает (до десятков Ом), ток в обмотке чувствительного реле увеличивается, якорь притягивается, и контакт в точке С замыкается.

Через замкнутые контакты С и D положительное напряжение батареи PQ подается на обмотку реле звонка. Якорь притягивается, молоточек ударяет по колокольчику, раздается звон, который сигнализирует о наличии электромагнитного сигнала, при этом контакт D разрывается, ток через обмотку прекращается, якорь отходит от реле, а молоточек обратным ходом ударяет по стеклянной трубке когерера, металлический порошок когерера встряхивается и восстанавливается его большое входное сопротивление. Когерер снова становится в режим ожидания электромагнитной волны.

Если бы не было встряхивания, когерер все время имел бы низкое входное сопротивление благодаря сигналу, пришедшему первым. Электрический звонок продолжал бы звенеть, несмотря на прекращение электромагнитного излучения.

На чертеже видно, что молоточек при движении вверх ударяет по звонку, а при возврате в нижнее положение встряхивает когерер.

Для улучшения режима встряхивания когерер подвешивался на пружине.

В открытой печати доклад А.С. Попова был опубликован в августовском номере журнала Российского физико-химического общества за 1895 г. Полная схема приемника с подробным описанием его работы была опубликована в январском номере этого журнала за 1896 г.

В этой статье А.С. Попов впервые высказал следующую мысль: *«... мой прибор, при дальнейшем усовершенствовании его, может быть применен в передаче сигналов на расстояния при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающий достаточной энергией».*

Таким образом, А. С. Попов не только предложил приемник электромагнитных волн, но и указал, что он может быть применен для радиосвязи.

В свое время во Франции делались попытки приписать Э. Бранли изобретение радио. Но сам Э. Бранли это отрицал и признавал приоритет за А. С. Поповым.

Он писал: «... я не имею никаких посягательств на это изобретение, ибо я никогда не думал о передаче сигналов... Телеграфирование без проводов зародилась в действительности из опытов Попова. Русский ученый развил опыт, который я часто осуществлял...».

О. Лодж, создавший на основе усовершенствования трубки Бранли когерер, тоже вплотную подошёл к изобретению радио, но не изобрел. Сам он объяснил так: «...У меня не было достаточного понимания того, чтобы почувствовать, насколько это окажется экстраординарно важным для флота, торговли, гражданской и военной связи.... Попов первый заставил сам сигнал приводить в исходное (непроводящее) состояние когерер, и я считаю, что этим нововведением мы обязаны именно ему».

Так что же нового в приемнике, сконструированном А. С. Поповым?

Он впервые применил два принципиально новых элемента:

- 1) предварительный усилитель-триггер на базе чувствительного реле;
- 2) обратную связь (рис. 3.7).

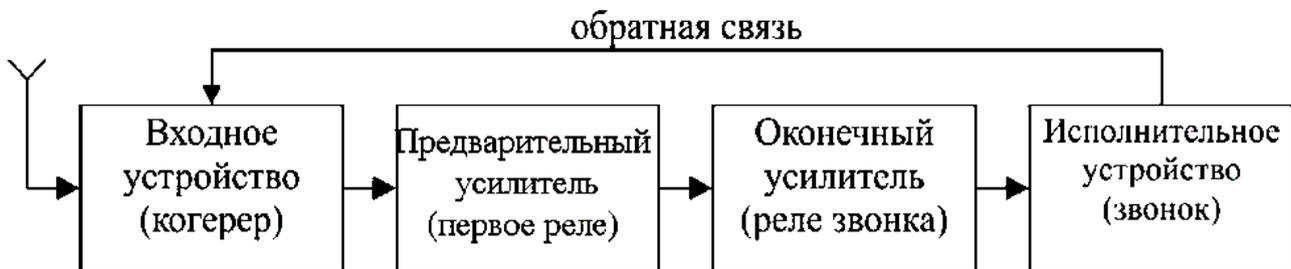


Рис. 3.7. Структурная схема приемника А. С. Попова

Простое встряхивание когерера молоточком звонка по сути представляло собой полноценную обратную связь. Именно чувствительное реле и обратная связь являются ключевыми элементами приемника А. С. Попова. Особенно значимым является применение обратной связи.

Введенная обратная связь позволила электрическому звонку на выходе реагировать именно на приход сигнала. Именно пришедший сигнал управлял всеми компонентами приёмника. Очень скоро выяснилось, что звонок реагировал не только на принятый короткий сигнал, но и на продолжительность сигнала. Короткий сигнал – короткий звонок, длинный

сигнал – продолжительный звонок. А это уже азбука Морзе, которая состоит из комбинации точек и тире.

Тем самым А. С. Попов, вольно или невольно, предложил принципиально новый способ приема электромагнитных волн, который в дальнейшем определил развитие радиоэлектроники.

В марте 1896 г. впервые в мире А. С. Попов осуществил радиопередачу осмысленного текста: „*HEINRICH HERTZ*“. Таким образом, русский изобретатель отдал должное великому ученому-физику Генриху Герцу, впервые исследовавшему электромагнитные волны.

После успешной демонстрации приемника Попов приступил к его усовершенствованию.

К сожалению, А. С. Попов не запатентовал свое изобретение. Впоследствии он признавал, что не проявил должной настойчивости в продвижении своего изобретения.

В 1896 г. в журнале «Журнал РФХО», имевший международную рассылку, увидела свет публикация профессора А. С. Попова «Прибор для обнаружения и регистрации электрических колебаний». Это была *первая в мире публикация по передаче информации с помощью электромагнитных колебаний*.

Ближайший помощник А. С. Попова П. Н. Рыбкин вспоминает, что Попову было сделано несколько выгодных предложений переехать для работы за границу. Однако А. С. Попов решительно их отверг. Он заявил: «Я – русский человек, и все свои знания, весь свой труд, все свои достижения я имею право отдавать только моей родине. Я горд тем, что родился русским. И если не современники, то, может быть, потомки наши поймут, сколь велика моя преданность нашей родине и как счастлив я, что не за рубежом, а в России открыто новое средство связи».

3.1.3. Изобретение Г. Маркони

2 июня 1896 г. спустя 13 месяцев после доклада А. С. Попова итальянец *Гульельмо Маркони* получил британский патент на устройство для «беспроволочного телеграфирования» и лишь после этого ознакомил публику с конструкцией своего изобретения. Главная идея – встряхивать когерер посредством обратной электромеханической связи – совпадала с идеей А. С. Попова, поэтому во Франции, Германии и России ему в патенте отказали.

До 4 июня 1897 г. Попов не мог ничего знать о принципах, использованных Маркони. А когда узнал, поразился, насколько совпали две схемы: схема Маркони и схема Попова. Тот же когерер. То же устройство для встряхивания когерера – молоточек, работающий от реле. Та же схема обратной связи – сам сигнал «встряхивает» когерер, делая его пригодным для принятия следующего импульса. Та же антенна.

Однако утверждать, что Маркони «украл» схему приемника у Попова, нет оснований. Скорее всего, это доказательство единого пути развития науки. Но в принципе Маркони вполне мог знать или слышать о трудах Попова. Специальные комиссии, Бранли и Лодж, электротехнические конгрессы полностью признали приоритет Попова. Не признали его Англия, Италия и сам Маркони. Несмотря ни на что, Попов всегда относился к Маркони и его деятельности доброжелательно.

Одним из свидетельств признания первенства А. С. Попова является то, что Американским Институтом инженеров электротехники и электроники (IEEE) в Санкт-Петербурге установлена бронзовая мемориальная доска Milestone, на которой указано, что определяющий вклад в развитие радиосвязи внес А. С. Попов, *продемонстрировавший* беспроводную передачу сигналов 7 мая 1895 г. Аналогичную доску в честь Г. Маркони IEEE установило в Швейцарии, указав, что он *начал* свои опыты по беспроводной связи 25 сентября 1895 г.

А. С. Попов изложил свой взгляд на деятельность Г. Маркони следующим образом: *«Заслуга открытия явлений, послуживших Маркони, принадлежит Герцу и Бранли, затем идет целый ряд предложений многими после них, в том числе и мною, а Маркони первый имел смелость стать на практическую почву и достиг в своих опытах больших расстояний усовершенствованием действующих приборов».*

Таким образом, если быть справедливым, то и Маркони, и Попов, и ряд других физиков являются соавторами изобретения радио, при этом невозможно представить изобретение радио без работ Максвелла, Герца, Лоджа. Вообще параллельные и независимые достижения являются нормальной мировой практикой.

Действия Г. Маркони на поприще коммерциализации своих идей были вполне успешны. В результате он действительно стал «отцом радио» – но не как изобретения, а как коммерческого продукта. Следуя законам

бизнеса, он запатентовал принцип и аппаратуру радиосвязи, провел шумную рекламную кампанию и даже попытался ввести монополию на предоставление услуг радиосвязи, запретив своим операторам устанавливать связь с радиостанциями других производителей, хотя технически она была вполне возможна.

Если А. С. Попов был первым в демонстрации действующего радиоприемника, то широким распространением радиосвязи мир обязан в первую очередь Г. Маркони. За это достижение в 1909 г. ему была присвоена Нобелевская премия (совместно с К. Ф. Брауном). К сожалению, А. С. Попова уже не было в живых, и по установленным правилам ему нельзя было присудить Нобелевскую премию.

Фирмой «Маркони» в конце XIX – начале XX в. была построена обширная сеть береговых станций в странах Европы и Америки, благодаря которой были спасены многие человеческие жизни, среди них – пассажиры парохода «Титаник».

3.1.4. Изобретение Н. Теслы

Одним из изобретателей радио можно также считать сербского ученого-электротехника *Никола Тесла*, именем которого названа единица магнитной индукции (Тл).

В 1893 г., за три года до первых опытов Г. Маркони и за два года до демонстрации А. Поповым своего «грозоотметчика», он разработал основные элементы радиосистемы, в том числе передатчик и приемник, настроенные в резонанс. В 1895 г. Тесла передает радиосигналы на расстояние 30 миль.

В приемнике Н. Тесла (рис. 3.8) широко использовались резонансные контуры, обеспечивавшие значительное усиление напряжения сигнала перед подачей на когерер, а проблему встряхивания когерера Тесла решил по-своему, предложив *вращающийся* когерер. Пересыпающиеся опилки немедленно разрушали проводящие цепочки, как только прекращался сигнал.

Однако следует заметить, что в приемнике Попова решение этой проблемы было более изящным, так как не надо было вращать когерер постоянно, а его встряхивание происходило за счет применения *обратной связи* от исполнительного устройства (звонка).

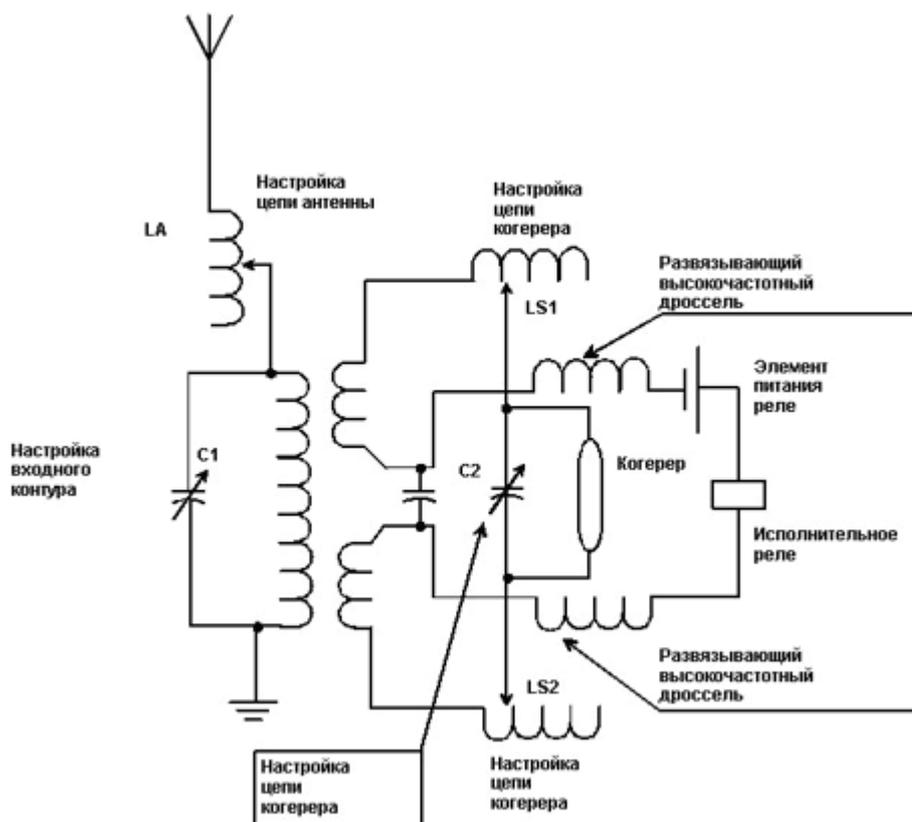


Рис. 3.8. Схема приемника Н. Теслы

Н. Тесла четко определил несколько основных «признаков радио»: *антенна, заземление, передатчик и приемник, настроенные в резонанс.*

Ученый указывал, что если высокочастотный сигнал пропустить через катушку и конденсатор, то возникнет «*резонансный эффект*». И хотя он запатентовал часть своей радиосистемы с описанием аппаратуры, он никогда не занимался ее коммерческим применением и даже не удосужился объявить об этом в печати.

В 1943 г., через полгода после смерти Н. Теслы, американский суд официально подтвердил его приоритет в изобретении радио.

Н. Тесла указывал, что Г. Маркони заимствовал идеи из 17 (!) его патентов.

Н. Тесла – первооткрыватель *радиотелемеханики*. Он впервые осуществил управление судном по радио на большом расстоянии.

Он открыл переменный ток, изобрел трансформатор, электрогенератор и электродвигатель.

В 1915 г. двум великим изобретателям Н. Тесле и Т. Эдисону одна на двоих была присуждена Нобелевская премия, но Н. Тесла от нее отказался. Отказ был вызван двумя причинами: он не считал Т. Эдисона ученым

и не мог видеть себя рядом с ним. Н. Тесла категорически не разделял взглядов Т. Эдисона на право ученого заниматься коммерцией. С точки зрения Н. Теслы, ученый ни при каких обстоятельствах не должен этого делать.

3.1.5. Некоторые исторические даты эры радиосвязи

Весной 1897 г. *А. С. Попов* стал проводить опыты по установлению радиосвязи между кораблями в Кронштадтской гавани. Ему удалось установить связь на 5 км.

6 июля 1897 г. Маркони на итальянской военно-морской базе Специя передаёт фразу «*Viva l'Italia*» из-за линии горизонта – на расстояние 18 км.

1898 г. фирма Дюкрете приступила к производству радиостанций по системе *А. С. Попова*.

В 1898 г. *Маркони* осуществил передачу радиосигналов через Ла-Манш, применив открытие немецкого ученого *К.Ф. Брауна* – колебательный контур.

В 1899 г. радиотелеграф *Попова* был применен при оказании помощи потерпевшему аварии броненосцу «Генерал-адмирал Апраксин», который сел на камни у юго-восточного берега острова Гогланд в Финском заливе. Для управления восстановительными работами была создана первая в мире радиолиния протяженностью 45 км. Научное руководство созданием радиолинии осуществлялось *А. С. Поповым* и его ассистентом *П. Н. Рыбкиным*.

В 1899 г. благодаря аппарату *А. С. Попова*, установленному на борту ледокола «Ермак», стало возможным спасение рыбаков, унесенных на льдине в открытое море. Таким образом, в 1889 г. началось эффективное практическое применение радиосвязи на море.

В 1900 г. профессор *А. С. Попов* продемонстрировал на Всемирной выставке в Париже свою радиостанцию и получил золотую медаль и диплом. В одном из корпусов электромеханического завода Кронштадского военного порта *Поповым* организована мастерская для ремонта и производства радиостанций. Так, в 1900 г. возникла российская радиопромышленность.

В 1901 г. *Г. Маркони* провел сеанс радиосвязи через Атлантику между Великобританией и Канадой. Попытки *Маркони* запатентовать свое изобретение в других странах, кроме Англии и Италии, не увенчались успехом, так как в большинстве из них уже было известно открытие *А. С. Попова*.

1903 г. профессор А. С. Попов и его аспирант С. Я. Лифшиц передали звуки голоса по радио искровым передатчиком и приняли детекторным приемником, открыв эру *радиотелефонии*.

4 января 1904 г. А. С. Попов на III Всероссийском электротехническом съезде прочитал доклад «Телефонирование без проводов».

1906 г. – Реджинальд Фессенден и Ли де Форест (США) предложили метод амплитудной модуляции радиосигнала, что позволило передавать в эфире речь с хорошим качеством и разборчивостью.

1911 г. – Бэкер в Англии изобрел портативный радиопередатчик весом около 7 кг и разместил его на самолете. Дальность радиосвязи составляла 1,5 км.

В 1912 г. благодаря радиоаппаратуре Маркони было спасено 712 человек с «Титаника».

В 1915 г. Джон Карсон из фирмы America Telephone & Telegraph изобрел однополосную модуляцию (SSB).

В 1917 г. американский инженер Эдвин Армстронг разработал принцип супергетеродинного приемника (рис. 3.9). Принцип супергетеродина позволил значительно улучшить чувствительность и избирательность радиоприемников в широком диапазоне частот. Через несколько лет супергетеродин вытеснил практически все типы радиоприемников и до настоящего времени остается основным принципом построения радиоприемных устройств.

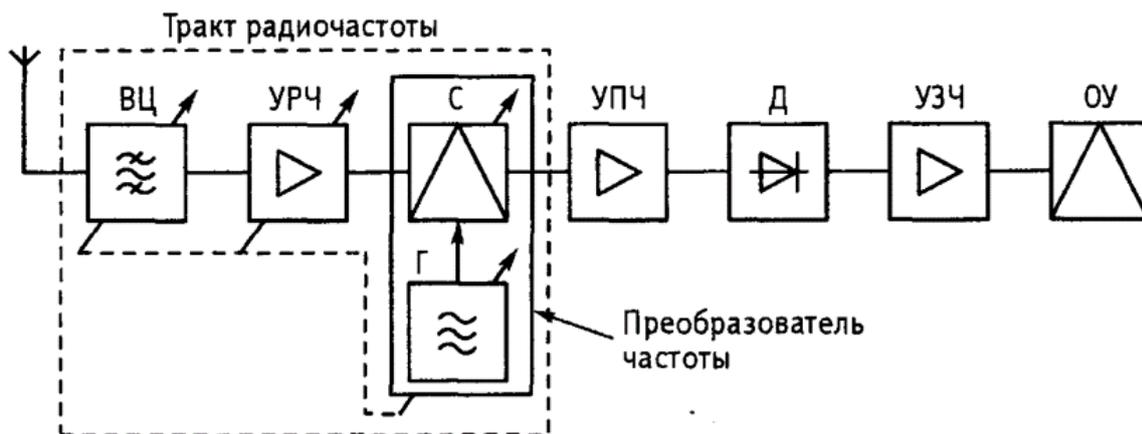


Рис. 3.9. Блок-схема супергетеродинного приемника

В 1918 г. создана Нижегородская радиолaborатория (НРЛ) – первый российский научно-исследовательский центр в области радиотехники. Ведущим ученым и организатором НРЛ был Михаил Александрович Бонч-

Бруевич, российский ученый-радиотехник, член-корреспондент АН СССР (1931). Под руководством Бонч-Бруевича изучались особенности распространения коротких волн и построены первые коротковолновые линии дальней радиосвязи. Он занимался также исследованиями ультракоротких волн и их практическим применением, в том числе в области радиолокации.

В марте 1919 г. НРЛ начала производство приемно-усилительных радиоламп.

Осенью 1920 г. специалисты НРЛ установили на Ходынской радиостанции в Москве радиотелефонный передатчик мощностью 5 кВт.

В 1921 г. Александр Львович Минц, радиофизик и инженер (впоследствии академик АН СССР) разработал первую в России ламповую армейскую радиостанцию «АЛМ» (названа по инициалам автора). АЛМ была принята на вооружение и изготовлена в количестве 220 комплектов (по тем временам крупная партия).

В 1921 г. в радиоприемниках вместо наушников начали применяться громкоговорящие преобразователи (динамики, рупоры, горны) (рис. 3.10).

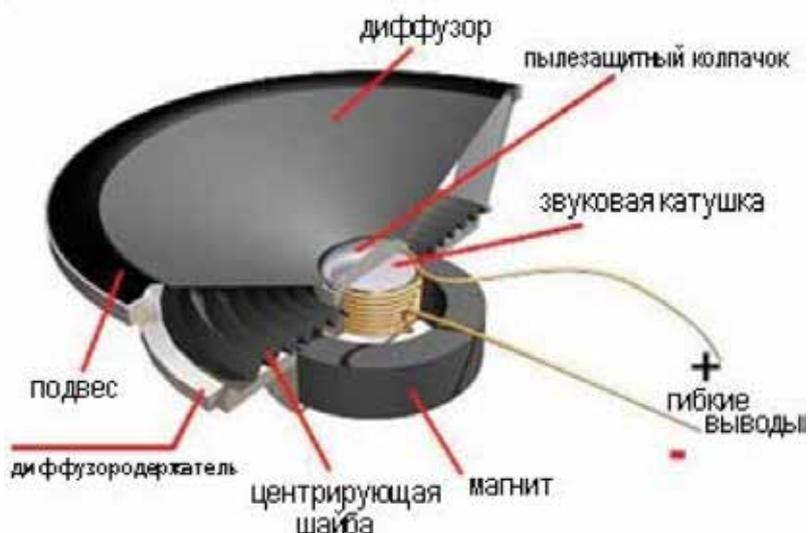


Рис. 3.10. Устройство динамика («громкоговорителя»)

В 1924 г. в СССР принято Постановление Совета народных комиссаров «О частных приемных радиостанциях», разрешающее сборку и установку приемников для «радиослушания». Постановление закрепило за гражданами страны право владения собственным радиоприемником. Выпущен промышленный **детекторный радиоприемник** (рис. 3.11) для населения «ЛДВ» («любительский детекторный вещательный») производства Треста заводов слабого тока в Москве.

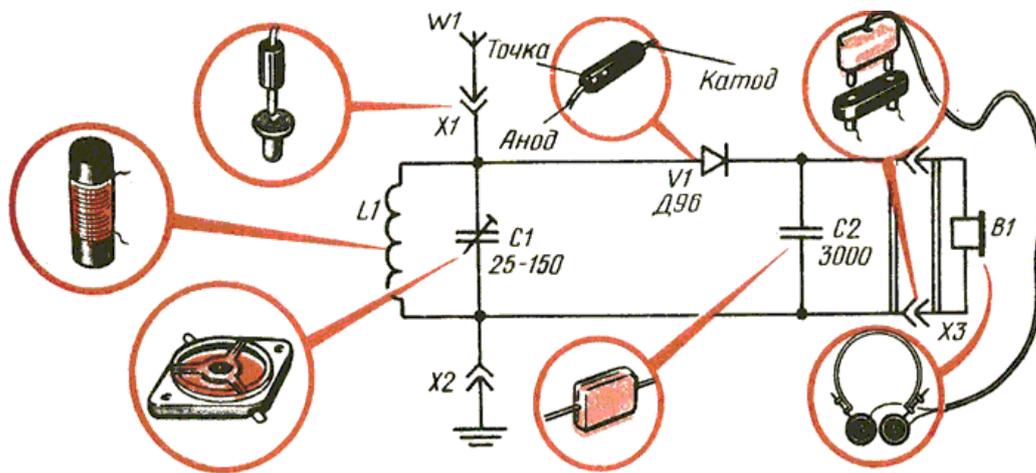


Рис. 3.11. Схема детекторного приемника

В апреле 1925 г. в Париже состоялся Международный Конгресс радиолюбителей, на который прибыли 23 делегации из 22 стран (около 300 человек). Образован Международный союз радиолюбителей – IARU.

В сентябре 1926 г. Нижегородской радиолaborаторией организованы первые коротковолновые магистральные линии радиосвязи Москва – Ташкент и Москва – Владивосток.

В 1933 г. Эдвин Армстронг разработал принцип частотной модуляции как технологии, позволяющей избавиться от импульсных помех. Он продемонстрировал достоинства и отличные шумовые характеристики частотной модуляции при передаче органной музыки (для сравнения передача велась методом амплитудной модуляции).

В 1945 г. в СССР принято правительственное постановление о 50-летию изобретения радио А. С. Поповым. Установлен ежегодный праздник – День радио (7 мая), учреждены Золотая медаль им. А. С. Попова, значок «Почетный радист».

3.2. ОСНОВОПОЛОЖНИКИ ТЕОРИИ СВЯЗИ

Можно выделить несколько разделов теории связи, оказавших существенное влияние на создание систем радиосвязи и вещания в XX в.:

- теория сигналов, к которой относятся спектральный анализ, теория модуляции, теория аналитического сигнала и теорема отсчетов;
- статистическая радиотехника;
- теория потенциальной помехоустойчивости;
- теория информации.

Эти разделы определяют фундаментальные законы передачи и приема аналоговых и цифровых сигналов в различных каналах связи и дают адекватный математический язык для описания этих законов.

Фундаментальные идеи теории связи были выдвинуты крупнейшими учеными XX в. – академиком Владимиром Александровичем Котельниковым и Клодом Элвудом Шенноном. Эти идеи в значительной степени определили бурное развитие в XX в. цифровых систем телекоммуникаций и обработки данных.

В. А. Котельниковым были выдвинуты основополагающие теоретические идеи, в значительной степени определившие развитие в XX в. электросвязи во всем мире. В 1933 г. он доказал знаменитую, носящую ныне его имя, теорему отсчетов, показавшую, что любой сигнал с ограниченным спектром может быть представлен своими отсчетами, взятыми через определенный интервал времени.

Согласно теореме Котельникова произвольный сигнал, спектр которого ограничен частотой F_{ν} , может быть полностью восстановлен, если известны его отсчетные значения, взятые через равные промежутки времени, не превышающие значения $1/(2F_{\nu})$. Этой теоремой руководствуются инженеры при создании как цифровых систем связи, так и любых устройств, предназначенных для обработки и хранения информации.

Другим его крупнейшим теоретическим достижением явилось создание в 1947 г. теории оптимального приема сигналов, давшей инженерам мощный инструмент для синтеза структуры устройств приема сигналов на фоне помех.

Методы этой теории в последующие годы развивались учеными во многих странах мира и были широко использованы для создания устройств оптимального приема сигналов в системах связи, радионавигации, радиолокации и т. д.

В 2000 г. за фундаментальный вклад в теорию связи IEEE (Институт инженеров электротехники и электроники) наградила его Золотой медалью им. А. Г. Белла.

«Академик Котельников – выдающийся герой современности. Его заслуги признаются во всем мире. Перед нами гигант радиоинженерной мысли, который внес самый существенный вклад в развитие радиосвязи», – так оценил научные заслуги В. А. Котельникова Президент IEEE профессор Айзенштайн.

По мнению многих авторитетных отечественных ученых, вторая половина XX в. знаменательна в отечественной и мировой науке деятельностью четырех «К» – Курчатова, Королева, Келдыша и Котельникова.

С именами этих ученых связаны крупнейшие научные достижения в области ядерной физики, космической техники, математики, электросвязи и планетарной радиолокации.

Клод Шеннон (1916–2001) – в первую очередь основатель теории информации. Мировую известность ему принесли разработки теории связи и кодирования. Он первым ввёл понятие «бит» – единицы измерения количества информации. За свои неопределимые заслуги он отмечен многими наградами и премиями, в том числе и Нобелевской премией. В 1948 г. им была опубликована статья «Математическая теория связи», в которой Шеннон изложил свои идеи, ставшие впоследствии основой современных теории и техники обработки, передачи и хранения информации. Результаты его работ в области передачи информации по каналам связи стали основой многочисленных исследований по всему миру.

Теорема Шеннона о пропускной способности канала определила предел для скорости передачи информации в канале с шумами. Этот предел получил название «предел Шеннона». Ученый доказал, что при передаче информации со скоростями ниже этого предела можно обеспечить сколь угодно малую вероятность ошибки передачи информации в зашумлённом канале.

В развитие теории помехоустойчивого приема дискретных сообщений выдающийся вклад внесли ученые из СССР – Л. М. Финк, В. С. Мельников, Д. Д. Кловский, Н. П. Хворостенко, И. С. Андронов, М. А. Быховский, Н. Е. Кирилов; США – Г. Л. Турин, И. Н. Пирс и С. Штейн, Р. Прайс и П. Е. Грин, В. К. Линдсей, П. А. Белло, а в развитие теории информации – ученые из СССР – А. Н. Колмогоров, А. И. Хинчин, Р. Л. Добрушин, М. С. Пинскер, Р. Л. Стратонович; США – А. Фейнштейн, Р. Галлагер, Дж. Вольфовиц.

3.3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Беспроводные каналы связи, использующие в качестве среды передачи радио- или инфракрасные волны, не осуществляют физический контакт с передающими и принимающими устройствами. На сегодняшний день такие каналы связи являются главной альтернативой контактному спосо-

бам передачи данных на основе телефонных линий, витой пары и оптоволокну. Наиболее часто используемые современные устройства беспроводной передачи данных – радиостанции, радиорелейные линии связи, системы спутниковой связи, системы сотовой связи.

Система связи – совокупность технических средств для передачи сообщений от источника к потребителю. Независимо от вида используемой линии связи (среды передачи сигнала) и конкретной технической реализации системы связи ее структурная схема включает одинаковые блоки, приведенные на рис. 3.12.

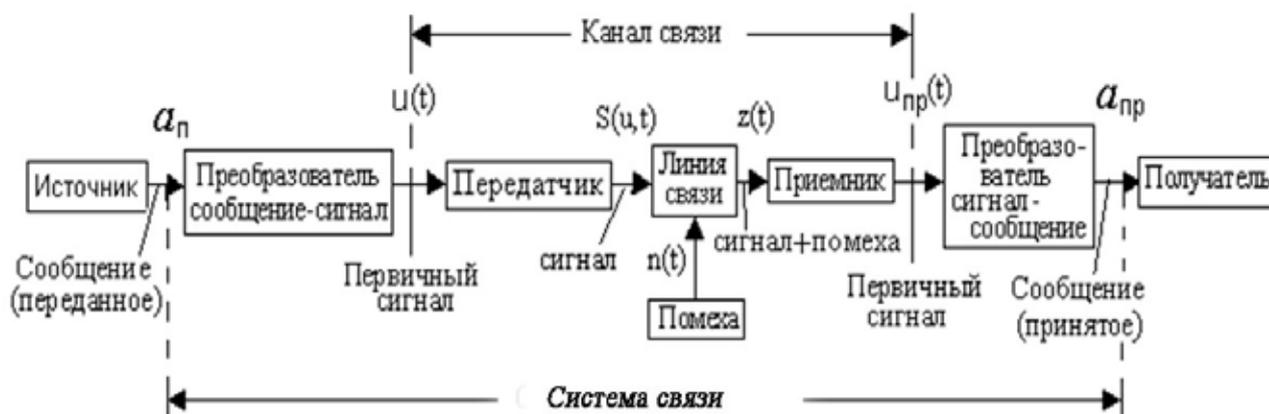


Рис. 3.12. Структурная схема системы связи

Источник и получатель сообщений в системах связи – человек или различного рода устройства.

Преобразователь сообщения в сигнал: в телефонии – это микрофон, в телеграфии – телеграфный аппарат, в телевидении – передающая трубка (ПЗС-матрица).

Передатчик преобразует первичный сигнал $u(t)$ (обычно низкочастотный) во вторичный (высокочастотный) сигнал $s(u, t)$ на несущей частоте, пригодный для передачи по линии связи. Это осуществляется посредством модуляции, преобразования частоты и последующего усиления.

Линией связи (каналом связи) называется физическая среда и совокупность аппаратных средств, используемых для передачи сигналов от передатчика к приёмнику. Физическая среда – это, прежде всего, кабель, или волновод, в системах радиосвязи – область пространства, в котором распространяются электромагнитные волны от передатчика к приёмнику. При передаче канальный сигнал $s(u, t)$ может искажаться и на него могут накладываться помехи $n(t)$.

Приёмник обрабатывает (усиливает, преобразует по частоте, фильтрует от внеполосных помех, демодулирует) принятое колебание $z(t) = s(t) + n(t)$, представляющее собой сумму пришедшего искажённого сигнала $s(t)$ и помехи $n(t)$, а преобразователь сообщения в сигнал восстанавливает по нему сообщение a_{np} , которое с некоторой погрешностью отображает переданное сообщение a_n .

Зачем для передачи низкочастотных сигналов нужна несущая частота?

Дело в том, что передачу электромагнитного колебания на расстояние выполняют с помощью антенн, размер которых зависит от длины волны λ . Для мобильных телефонов размер антенны обычно равен $\lambda/4$, а длина волны определяется как

$$\lambda = c/f,$$

где $c \approx 300\,000$ км/с – скорость света в свободном пространстве; f – циклическая частота несущей в герцах (герц – частота, при которой происходит одно колебание в секунду). Для частоты, определяемой в килогерцах, мегагерцах, гигагерцах, соответственно получают следующие соотношения:

$$f [\text{кГц}] = 300/\lambda [\text{км}];$$

$$f [\text{МГц}] = 300/\lambda [\text{м}];$$

$$f [\text{ГГц}] = 300/\lambda [\text{см}].$$

Рассмотрим передачу низкочастотного сигнала (например, звука со средней частотой $f = 1\,500$ Гц), поступающего в антенну *без использования несущей частоты*. Какая антенна будет нужна для мобильного телефона в этом случае?

Получаем для сигнала 1 500 Гц: $\lambda/4 = 50\,000$ м = 50 км.

Но если низкочастотный сигнал передается с помощью несущей, например 1 500 МГц, размер антенны составит порядка 5 см. Именно поэтому для передачи обычно используются несущие частоты, значения которых значительно выше частоты самого сигнала.

3.4. ДИАПАЗОНЫ ЧАСТОТ РАДИОСВЯЗИ

В современной радиосвязи используют электромагнитные колебания, расположенные в диапазоне частот от 10 до 10^{13} Гц.

Диапазоны радиоволн

Наименование диапазона	Длина волны	Частота	Примеры использования
Декаметровые (крайне низкие частоты – КНЧ, ELF)	10^5 – 10^4 км	3–30 Гц	Подводная и служебная связь
Метровые (сверхнизкие частоты – СНЧ, SLF)	10^4 – 10^3 км	30–300 Гц	Подводная и служебная связь
Гектокилометровые (инфранизкие частоты – ИНЧ, ULF)	10^3 – 10^2 км	300–3000 Гц	Подводная и служебная связь
Мириаметровые (сверхдлинные волны – СДВ, ОНЧ, VLF)	100–10 км	3–30 кГц	Дальняя радионавигация. Подводная и служебная связь
Километровые (длинные волны, ДВ, LF)	10–1 км	30–300 кГц	Радиовещание
Гектометровые (средние волны, СВ, MF)	1000–100 м	0,3–3 МГц	Радиовещание
Декаметровые (короткие волны, КВ, HF)	100–10 м	3–30 МГц	Радиовещание. Радиосвязь
Метровые (ультракороткие волны, ОВЧ, VHF)	10–1 м	30–300 МГц	УКВ-, ЧМ-вещание. Телевизионное вещание. Мобильная и самолетная радиосвязь
Дециметровые (УВЧ, UHF)	1–0,1 м	0,3–3 ГГц	Телевизионное вещание. Космическая радиосвязь и радионавигация. Радиолокация
Сантиметровые (СВЧ, SHF)	10–1 см	3–30 ГГц	Космическая радиосвязь. Радиолокация. Радионавигация. Радиоастрономия
Миллиметровые (КВЧ, EHF)	10–1 мм	30–300 ГГц	Космическая радиосвязь. Радиолокация. Радиоастрономия

Общепринятая международная классификация диапазонов длин радиоволн и соответствующих им диапазонов радиочастот, а также областей применения приведена в табл. 3.1.

Прогресс радиотехники связан с освоением для передачи информации все более высоких диапазонов частот. Это объясняется некоторыми при-

чинами. Во-первых, чем выше частота электромагнитных колебаний, тем шире может быть рабочая полоса частот. А от ширины полосы, как известно из теории связи, зависят объем и скорость передаваемой информации. Например, средневолновый диапазон лежит в пределах 0,3–3 МГц, его ширина составляет 2,7 МГц. Естественно, что во всем этом диапазоне не удастся разместить даже один канал телевидения с его шириной рабочей полосы в 6 МГц. В то же время в дециметровом диапазоне шириной около 3000 МГц можно одновременно разместить 500 таких каналов.

Вторая причина повышения рабочего диапазона заключается в том, что размеры антенны при одном и том же угле диаграммы направленности пропорциональны длине волны, которая уменьшается с ростом частоты.

Итак, развитие радиотехники – это постоянное освоение все более высоких частот электромагнитных волн и применение сигналов с широким спектром.

3.5. ПРЯМАЯ РАДИОСВЯЗЬ

Системами прямой радиосвязи являются такие системы, в которых сигнал от источника к получателю проходит по радиоканалу без промежуточных ретрансляций, или, как говорят, «от точки к точке». Исторически такие системы связи появились первыми. Они использовали такое свойство дальнего распространения радиоволн от крайне низких частот до дециметровых (коротких) волн, как распространение в «волноводе» между поверхностью Земли и ионосферой (ионизированный под воздействием Солнца слой земной атмосферы) (рис. 3.13).

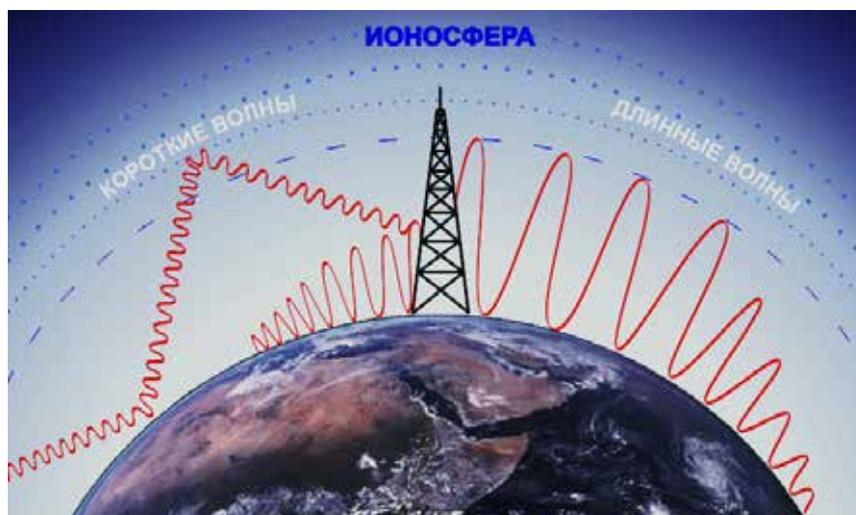


Рис. 3.13. Иллюстрация принципа распространения радиоволн с частотами до 30 МГц

Примером систем прямой радиосвязи являются декаметровые (коротковолновые) системы радиосвязи. Диапазон частот этих систем составляет 3–30 МГц. Связь осуществляется как в пределах прямой видимости, так и за счет отражения от ионосферных слоев и Земли. КВ-связь допускает связь на очень большие (глобальные) расстояния, мобильна, проста в организации (особенно в районах с низкой плотностью населения). Декаметровый диапазон радиоволн широко используется в различных гражданских и военных сферах для решения задач передачи сообщений на дальние расстояния. Системы связи этого диапазона являются наиболее экономичными и наименее уязвимыми, например, по сравнению со спутниковыми системами связи с точки зрения возможности их физического уничтожения.

Характеристики систем связи с целью обеспечения их электромагнитной совместимости регламентируются международными и российскими стандартами. Так, например, характеристики КВ-систем морской связи определены в Российском морском регистре судоходства, являющемся членом Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО).

Прямая радиосвязь в УКВ (ОВЧ) диапазоне (30–300 МГц) осуществляется в пределах прямой видимости. Расстояние прямой видимости D_v (рис. 3.14) в километрах между двумя мачтами антенн с высотами h_1 и h_2 (в метрах) можно вычислить по формуле

$$D_v \approx 3,57 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}).$$

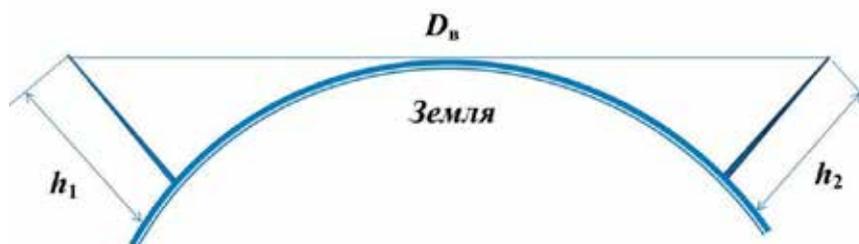


Рис. 3.14. Геометрия прямой видимости

Из вышеприведенной формулы, например, следует, что два человека ростом по 170 см с носимыми УКВ-радиостанциями могут держать связь на расстоянии D , примерно равном

$$D = 3,57 \cdot 2 \cdot \sqrt{1,7} = 9,3 \text{ км.}$$

Ультракороткие радиоволны, в отличие от волн более низких диапазонов, не отражаются от ионосферы, а проходят через нее в пространство

(рис. 3.15) Вселенной, что позволяет использовать их, а также еще более короткие волны для связи с космическими объектами.

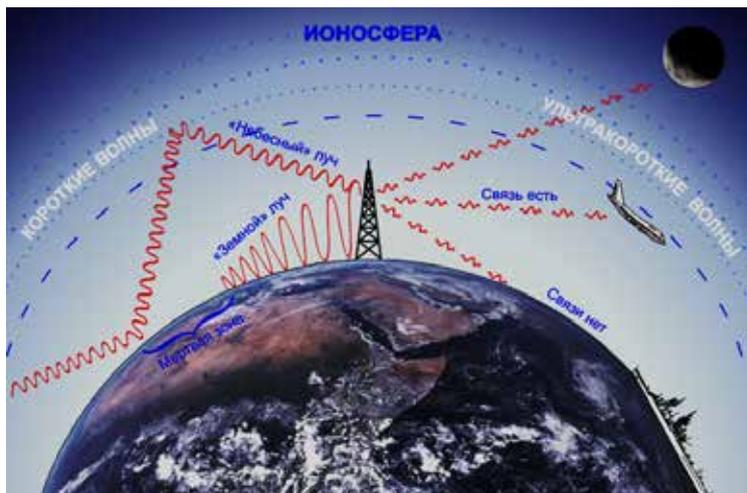


Рис. 3.15. Иллюстрация к распространению УКВ

3.6. РАДИОСВЯЗЬ С РЕТРАНСЛЯЦИЕЙ СИГНАЛА

3.6.1. Радиорелейная связь

К классу систем радиосвязи с ретрансляцией относятся наземные радиорелейные линии, которые в телекоммуникационных системах используются для передачи больших объемов информации между двумя пунктами.

Микроволновые сигналы радиорелейных линий распространяются в пространстве по прямой линии, что ограничивает дальность передачи 40–50 километрами из-за кривизны земной поверхности. Еще один недостаток этих систем – зависимость от погодных условий. Для дальней связи в радиорелейных системах используется принцип ретрансляции, при котором через определенные расстояния устанавливаются пункты приема-передачи, что позволяет не только преодолеть проблему ограничения прямой видимости, но также и избежать необходимости в весьма высоких мощностях передатчиков, которые требуются для дальней прямой радиосвязи (рис. 3.16).

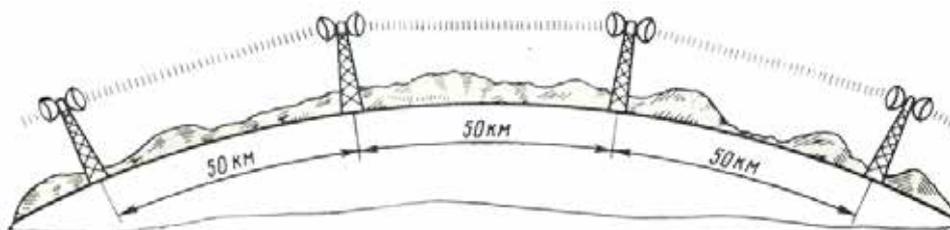


Рис. 3.16. Принцип передачи сигналов в радиорелейной линии связи

В СССР начало развитию радиорелейной связи способствовала дешевизна радиорелейной связи по сравнению с кабельными линиями, особенно в условиях огромных пространств с неразвитой инфраструктурой и сложной геологией местности. Первая магистральная радиорелейная система Р-600 (Р-600М, Р-600-МВ, «Рассвет-2») была создана в 1958 г. В 1970 г. появился комплекс унифицированных радиорелейных систем «КУРС». Все это позволило в 60–70-е годы развить сеть связи страны, обеспечить качественную телефонию и наладить передачу программ центрального телевидения. К середине 70-х годов в стране была построена уникальная радиорелейная линия, протяжённость которой составляла около 10 тыс. км, емкостью каждого ствола равной 14 400 телефонных каналов. Суммарная протяженность РРЛ в СССР превысила к середине 70-х годов 100 тыс. км.

К системам с ретрансляцией относятся также спутниковые и сотовые системы связи.

3.6.2. Спутниковые телекоммуникационные системы

Идея создания на Земле глобальных систем спутниковой связи была выдвинута в 1945 г., задолго до появления искусственных спутников Земли, писателем-фантастом *Артуром Кларком*. Он предложил создать системы спутников связи на геостационарных орбитах, но не запатентовал это изобретение, так как считал, что реализовать подобное на практике невозможно.

Однако идея А. Кларка стала реальностью уже через 12 лет, когда появились баллистические ракеты, с помощью которых 4 октября 1957 г. в нашей стране впервые в мире на орбиту был запущен первый искусственный спутник Земли (ИСЗ).

Главным конструктором первых космических систем был выдающийся ученый, академик *Сергей Павлович Королев*.

Для контроля за полетом ИСЗ на нем был размещен малогабаритный радиопередатчик – маяк, работающий в диапазоне 27 МГц. Это была *первая передача радиосигнала из космоса*.

22 апреля 1961 г. впервые в мире на советском космическом корабле «Восток» первый космонавт *Юрий Алексеевич Гагарин* совершил исторический полет вокруг Земли. При этом космонавт имел регулярную связь с центром управления по радио. Это была *первая двусторонняя радиосвязь между Землей и космическим объектом*.

У истоков создания отечественных спутниковых радиосистем стояли выдающиеся отечественные ученые и инженеры, возглавлявшие крупные научные центры. Решающее значение сыграли космические аппараты и их носители, созданные в НПО «Прикладная механика» (г. Железногорск, Красноярский край), возглавляемом учеником С. П. Королева академиком *М. Ф. Решетневым*.

Бортовые ретрансляторы для первых спутников связи разрабатывались в Московском научно-исследовательском институте радиосвязи (МНИИРС).

На Омском производственном объединении «Полет» производились ракета-носитель «Космос-3М», спутники для навигационно-связной системы «Парус», «Цикада», космические аппараты глобальной навигационной системы ГЛОНАСС.

Спутниковую связь можно рассматривать как вариант радиорелейной связи, ретранслятор которой вынесен на очень большую высоту (рис. 3.17).

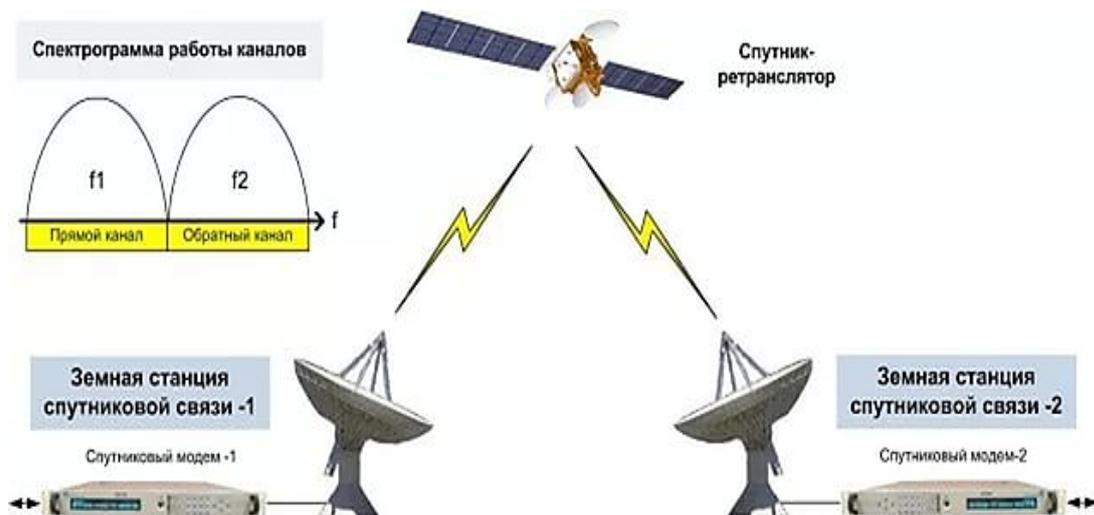


Рис. 3.17. Связь через спутник

При высоте спутника значительно большей, чем диаметр Земли, достигается площадь покрытия радиолучом почти половины земного шара и необходимость в цепочке ретрансляторов отпадает. А при низколетящих спутниках их запускают несколько десятков и осуществляют ретрансляцию сигналов между ними. Спутники связи весьма эффективны по стоимости при передаче больших массивов данных на большие расстояния, поэтому системы связи этого типа используются в больших, географически распределенных организациях, а также там, где нельзя применить кабельные или радиорелейные линии связи.

Главное преимущество спутниковой связи – возможность осуществлять высокоскоростную и высококачественную связь на высоких несущих частотах с покрытием больших территорий на земной поверхности. Для российских условий это особенно актуально, так как в нашей стране наземные телекоммуникационные сети развиты далеко не повсеместно.

Спутниковый интернет, телефония, корпоративная спутниковая сеть, мобильная спутниковая связь, видео-конференц-связь, аудио-конференц-связь, передача данных различного объема, спутниковые каналы связи и телевидения – далеко не полный список возможностей спутниковой связи.

Однако при всем развитии технология все же имеет и свои недостатки. Один из ключевых минусов системы – задержка распространения сигнала. Это особенно критично в телефонной связи в реальном времени. Следует также отметить, что на качество спутниковой связи оказывают некоторое влияние и атмосферные явления.

Орбиты, на которых размещаются спутниковые ретрансляторы, подразделяют на три класса: экваториальные, наклонные, полярные (рис. 3.18).

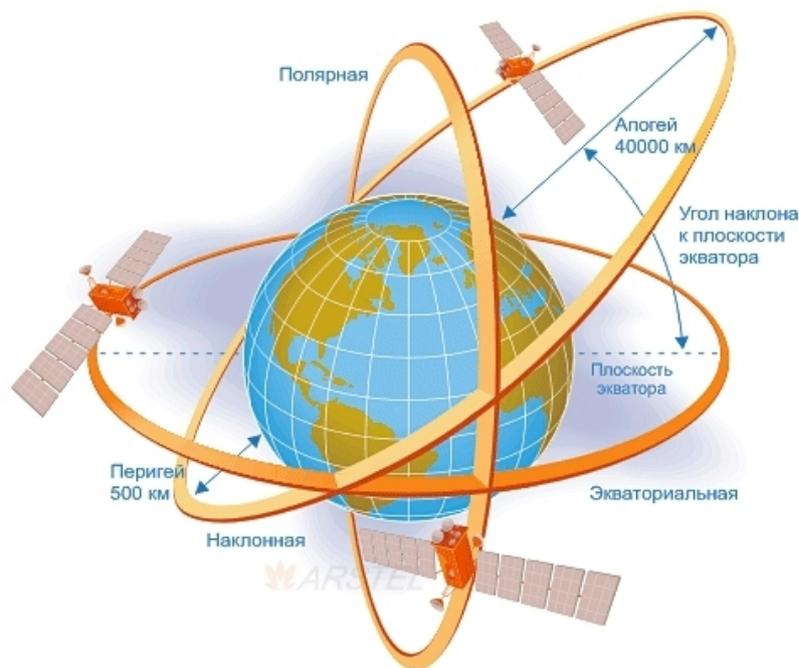


Рис. 3.18. Орбиты ретрансляторов

Важной разновидностью экваториальной орбиты является *геостационарная орбита* (ГСО) с высотой около 36 000 км, на которой спутник вращается с угловой скоростью, равной угловой скорости Земли (1 оборот за сутки), в направлении, совпадающем с направлением вращения Земли. Очевидным преимуществом геостационарной орбиты является то, что

спутник «висит» над зоной обслуживания постоянно и наземные приемные антенны не нуждаются в системах слежения за положением спутника. Современные спутники, работающие на геостационарной орбите, имеют достаточно высокую точность удержания в заданной точке (как правило, не хуже 0,1 градуса по долготе и наклонению).

Однако с учётом «интервалов безопасности» между спутниками на геостационарной орбите их число ограничено. Другим её недостатком является большая высота (35 786 км), а значит, и большая цена вывода спутника на орбиту.

Большая высота ГСО приводит также к большим задержкам передачи информации (время прохождения сигнала от одной наземной станции до другой через геостационарный спутник даже теоретически не может быть менее 240 мс – две высоты орбиты, деленные на скорость света). Кроме того, плотность потока мощности у земной поверхности в точке приема сигнала падает по направлению от экватора к полюсам из-за меньшего угла наклона вектора электромагнитной энергии к земной поверхности, а также из-за увеличивающегося пути прохождения сигнала через атмосферу и связанного с этим поглощением. Поэтому спутник на ГСО практически не способен обслуживать земные станции в приполярных областях.

В настоящее время на ГСО находятся несколько сотен ИСЗ для связи и вещания, что приводит к необходимости международного регулирования и координации использования этой орбиты во избежание взаимных помех между различными системами связи. В настоящее время в нашей стране на ГСО находятся ИСЗ типа «Горизонт», «Экран», «Галс», «Ямал». Создателем и оператором системы «Ямал» является ОАО «Газпром космические системы». Этой системой оказываются услуги по организации каналов связи и передачи данных, видео-конференц-связи, распределительного телевидения, спутникового доступа в Интернет. На ее основе реализуются сети центрального телевидения и телевидения российских регионов, дистанционного образования и телемедицины.

В последнее десятилетие XX в. началось создание российского космического аппарата (КА) «Экспресс».

«Экспресс» – серия геостационарных телекоммуникационных спутников, принадлежащих российскому оператору ФГУП «Космическая связь».

Наклонная орбита позволяет решить эти проблемы, однако из-за перемещения спутника относительно наземного наблюдателя необходимо

запускать не меньше трёх спутников на одну орбиту, чтобы обеспечить круглосуточный доступ к связи.

Полярная орбита – предельный случай наклонной (с наклоном 90°).

При использовании наклонных орбит земные станции оборудуются системами слежения, осуществляющими наведение антенны на спутник и его сопровождение.

В 1962 г. в США был выведен на орбиту спутник связи и телевидения Telstar-1. Спутник находился на орбите высотой 632 км с периодом обращения 157 мин. Это не позволяло транслировать телевизионные передачи на территорию страны дольше 30–45 мин.

23 апреля 1965 г. в СССР состоялся запуск *искусственного спутника связи «Молния-1»*. Эта спутниковая линия для дальней радиосвязи и телевидения, разработанная МНИИРС и Научно-исследовательским институтом радио (НИИР), связала Москву и Владивосток. Она работала в диапазоне частот ниже 1 ГГц. Она предназначалась для передачи ТВ-программ или группового спектра 60 телефонных каналов. Спутник «Молния-1» был выведен на *высокоэллиптическую* орбиту с апогеем около 40 тыс. км, с перигеем около 500 км и периодом обращения вокруг Земли 12 ч.

Орбита спутника «Молния-1» (рис. 3.19) была удобна для обслуживания территории нашей страны, расположенной в северных широтах, так как в течение восьми часов на каждом витке ИСЗ был виден с любой точки страны, что многократно превышало возможности американской системы Telstar-1.

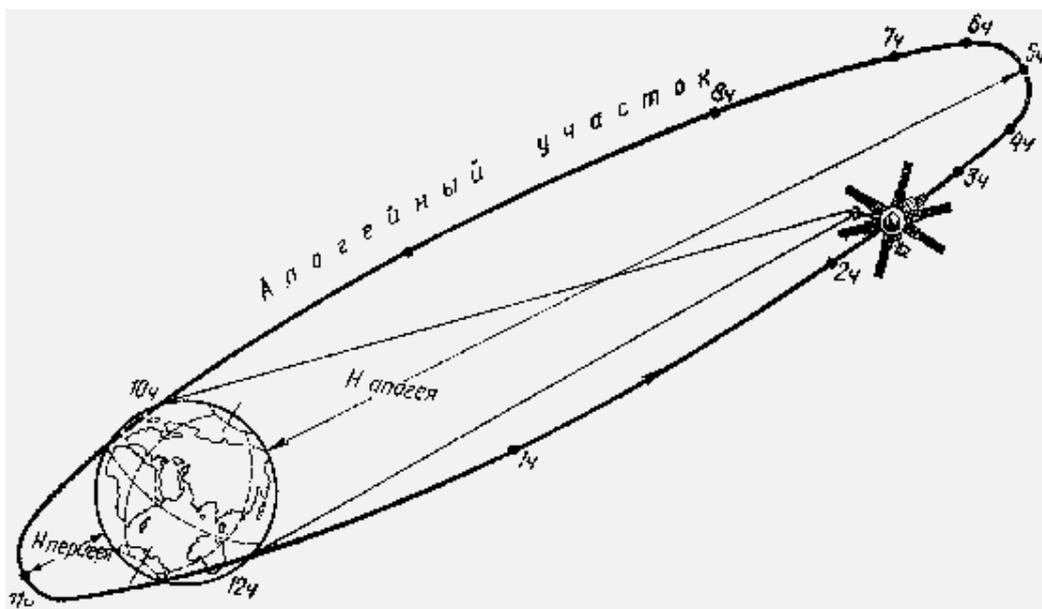


Рис. 3.19. Орбита спутника «Молния-1»

В 1965 г. в США выведен на орбиту спутник связи будущей системы Intelsat – Intelsat-1, известный как Early Bird («Ранняя птица»). Обеспечивал 240 телефонных голосовых каналов или один двусторонний телевизионный канал между США и Европой.

В 1971 г. с запуском новых спутников Intelsat-4s обеспечивал 4000 телефонных каналов, а к началу 90-х гг. Intelsat являлся самой обширной спутниковой системой связи в мире.

Особенностью большинства систем подвижной спутниковой связи является маленький размер антенны терминала, что затрудняет прием сигнала. Для того чтобы мощность сигнала, достигающего приёмник, была достаточной, применяют одно из двух решений:

- спутники располагаются на геостационарной орбите, но так как эта орбита удалена на расстояние почти в 40 000 км, то на спутнике устанавливается мощный передатчик с направленной антенной. Этот подход используется системой Inmarsat (основной задачей которой является предоставление услуг связи морским судам) и некоторыми региональными операторами персональной спутниковой связи (например, Thuraya);

- на *наклонных* или *полярных* орбитах располагается большое количество спутников. При этом требуемая мощность передатчика не так высока, и стоимость вывода спутника на орбиту ниже. Однако такой подход требует не только большого числа спутников, но и разветвленной сети наземных коммутаторов (рис. 3.20). Подобный метод используется в системах Iridium, Globalstar и отечественной системе «Гонец».

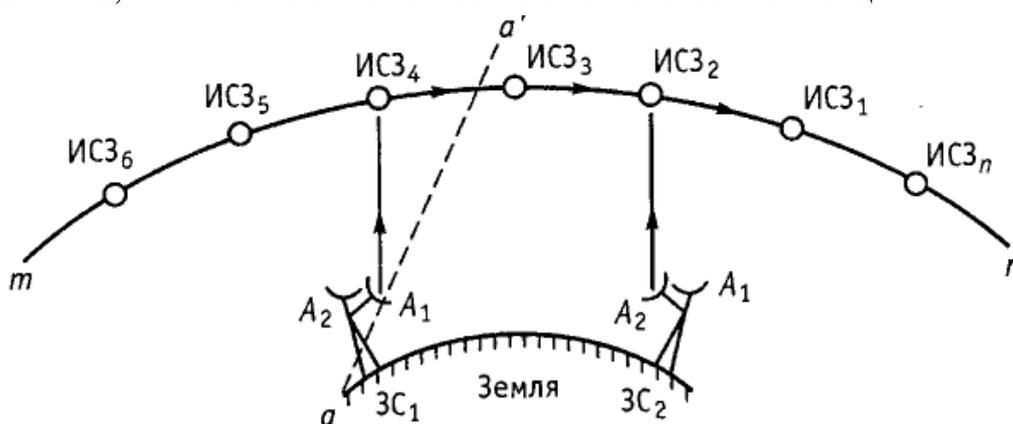


Рис. 3.20. Система связи с несколькими низколетящими ИСЗ

Орбитальная группировка спутников связи России по состоянию на март 2016 г. состояла из 12 космических аппаратов (КА) «Экспресс», 4 КА «Ямал», 13 КА «Гонец» и 3 КА «Луч» и имеет тенденцию к наращиванию.

Кроме этого, развивается отечественная Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС), содержащая около 30 спутников и являющаяся альтернативой и дополнением к американской системе позиционирования GPS.

Несмотря на достоинства систем спутниковой связи и навигации, Министерством связи РФ рассматриваются и альтернативные технологии, в частности аэростатное направление как альтернатива спутниковой группировке в Арктической зоне, где связь с помощью геостационарных спутников невозможна.

3.7. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

В развитии телекоммуникаций на современном этапе существует ряд тенденций, качественно меняющих понятие и содержание привычных нам услуг телефонии и телевидения.

1. Цифровизация. Переход к цифровым сигналам обеспечивает высокую помехоустойчивость передачи, повышает ее качество и надежность, существенно сокращает вес и габариты оборудования. Поскольку представление цифрового сигнала одинаково для всех видов трафика, то это создает реальную платформу для их объединения в одном канале передачи.

2. Глобализация. Телекоммуникационные сети приобретают практически всемирный характер. Это касается и телефонии, когда мы можем связаться с абонентом в любой стране, и передачи данных (сеть Интернет). Примерами глобальных сетей также являются сети сотовой связи (GSM, NMT и др.), сети спутниковой связи (InMarSat, Global Star и др.).

3. Персонализация. С появлением сотовых телефонов, терминалов спутниковой связи телекоммуникации все больше привязываются не к месту нахождения терминала (телефонный аппарат, телевизор и т. п.), а к персоне, человеку, который носит или возит терминал с собой.

4. Мобильность. Эта тенденция существовала и раньше, но сейчас она развивается в массовых средствах связи благодаря развитию технологий радиосвязи, которые являются беспроводными, и поэтому обеспечивают услугами абонентов, находящихся в движении, как при перемещении пешком, так и в автомобиле или даже самолете или космическом аппарате.

5. Интеграция услуг. Цифровые сигналы позволяют объединить разнородный трафик (голос, данные, видео) в одном цифровом потоке.

Анализ тенденций развития спутниковой связи и вещания показывает, что идет постепенное расширение использования новых телекоммуникационных технологий при сохранении преимущества с уже развернутыми наземными сетями спутниковой связи и вещания.

Что лучше – спутники или оптоволокно?

Такое сравнение не только уместно, но и поучительно. Всего лишь 25 лет назад люди смогли осознать, что будущее телекоммуникационных систем за спутниками связи.

В 1984 г. в США и чуть позднее в Европе стала возникать конкурентная борьба, которая привела к радикальным изменениям технологий связи. Телефонные компании занялись прокладкой оптического волокна для междугородной телефонии и стали предоставлять услуги высокоскоростного доступа в Интернет, например по ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line – Асимметричная цифровая абонентская линия). Наконец-то стали снижаться искусственно завышенные тарифы на дальнюю связь, за счет которых долгое время удерживались низкие тарифы на местные переговоры. Довольно неожиданно оптоволоконные кабели завоевали лидирующие позиции среди других каналов связи.

Тем не менее у спутников имеются свои области применения, в которых оптоволокно не может быть применено.

Во-первых, если речь идет о быстром развертывании системы связи, преимущество спутников бесспорно. Быстрая реакция крайне важна для военных целей, особенно во время войны, а в мирное время – для служб МЧС.

Вторая область применения спутников – связь в регионах с плохо развитой наземной инфраструктурой. Сети мобильной связи хорошо покрывают регионы с большой плотностью населения, но в других местах (например, в море или пустыне) они почти недоступны. Iridium же предоставляет услуги голосовой связи по всему миру, даже на Южном полюсе.

Третья область – широко вещание (радио и телевидение). Пакет данных, отправленный со спутника, одновременно принимается тысячами наземных станций. Поэтому со спутников вещают многие сетевые телеканалы. На современном рынке даже есть услуга прямого вещания со спутника: спутниковый телевизионный или радиоприемник устанавливается прямо в доме или автомобиле пользователя.

В целом основным средством телекоммуникаций на Земле, вероятно, будет комбинация оптоволоконна и сотовой радиосвязи, но для некоторых специальных применений будет использоваться спутниковая система. Однако если будет продолжаться удешевление спутниковых систем (например, если какие-нибудь будущие космические корабли будут способны выводить на орбиту одновременно десятки спутников связи), а низкоорбитальные спутники постепенно будут все больше использоваться в телекоммуникациях, то не исключено, что они приблизятся по эффективности к оптоволоконным сетям [6].

Контрольные вопросы к теме 3

1. Явление электромагнитной индукции и его первооткрыватель.
2. Уравнения, лежащие в основе теории распространения электромагнитных волн.
3. Роль Г. Герца в подтверждении электромагнитной теории.
4. Принцип действия когерера.
5. Принцип действия радиоприемника А.С. Попова. Дата и место демонстрации устройства.
6. Содержание первого текста, переданного по радио А.С. Поповым.
7. Достижения Г. Маркони в развитии радио.
8. Достижения Н. Теслы.
9. Изобретение амплитудной модуляции. Амплитудный детектор.
10. Принцип частотной модуляции.
11. В каких диапазонах радиочастот можно осуществить дальнюю («загоризонтную») радиосвязь без ретрансляции?
12. Какую ориентировочную дальность связи можно обеспечить в УКВ-диапазоне при высотах передающей и приемной антенн 2 м?
13. В чем состоит преимущество геостационарной орбиты перед низкой орбитой?
14. С какой целью создаются системы связи с использованием ИСЗ на низких орбитах?
15. Поясните основные принципы построения низкоорбитальных спутниковых систем связи.
16. За счет чего возникает запаздывание сигналов в спутниковых системах связи?

Список рекомендуемой литературы

1. Каганов, В. И. Радиотехника: от истоков до наших дней : учеб. пособие / В. И. Каганов. – М. : Форум : НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 352 с.
2. Штыков, В. В. Введение в радиоэлектронику : учебник и практикум для вузов / В. В. Штыков. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2016. – 271 с.
3. Украинцев, Ю. Д. История связи и перспективы развития телекоммуникаций : учеб. пособие / Ю. Д. Украинцев, М. А. Цветов. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – 128 с.
4. Богомолов, С. И. Введение в специальность «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» : учеб. пособие / С. И. Богомолов. – Томск : Факультет дистанционного обучения ТУСУР, 2010. – 162 с.
5. Одинец, А. И. История отрасли : конспект лекций / А. И. Одинец, Л. И. Федорашко. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2008. – 47 с.
6. Телекоммуникационные системы и сети : учеб. пособие / Г. П. Катунин [и др.] ; под ред. профессора В. П. Шувалова. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М. : Горячая линия-Телеком, 2004. – Т. 2. Радиосвязь, радиовещание, телевидение. – 672 с.
7. Шарле, Д. Генрих Герц – любимец богов: к 140-летию со дня рождения / Д. Шарле // Электросвязь : ежемес. науч.-техн. журн. по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию. – 1997. – № 2. – С. 42–45.
8. Чистяков, Н. Пропущенный юбилей: к изобретению Эдисоном машинного телеграфа / Н. Чистяков // Электросвязь : ежемес. науч.-техн. журн. по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию. – 1991. – № 7. – С. 45–47.
9. Фролова, О. В. Александр Степанович Попов. Путь ученого / О. В. Фролова // Вестник связи : ежемес. науч.-техн. журн. – 2009. – № 2. – С. 50–52.
10. Карпов, Е. А. К 110-летию изобретения радио / Е. А. Карпов // Электросвязь : ежемес. науч.-техн. журн. по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию. – 2004. – № 8. – С. 48–49.
11. Крыжановский, Л. Гульельмо Маркони и зарождение радиосвязи / Л. Крыжановский // Радио: аудио, видео, связь, электроника, компьютеры. – 1995. – № 1. – С. 15–17.

12. Шнейберг, Я. А. Основоположник радиотехники и техники СВЧ (к 150-летию со дня рождения Н. Теслы) / Я. А. Шнейберг // ЭИС. Электросвязь: история и современность. – 2007. – № 2. – С. 12–17.

13. Быховский, М. А. К 110-й годовщине изобретения радио. Вклад отечественных ученых в развитие радиоэлектроники и создание современной теории связи / М. А. Быховский // Электросвязь : ежемес. науч.-техн. журн. по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию. – 2005. – № 5. – С. 2–5.

14. Поляков, В. Т. Приемники Н. Теслы [Электронный ресурс] / В. Т. Поляков. – Режим доступа: <http://news.cqham.ru/articles/detail.phtml?id=738> (дата обращения: февраль 2017 г.).

15. Спутниковые системы связи мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mobile-networks.ru/articles/sputnikovye_sistemy_svjazi_mira.html (дата обращения: февраль 2017 г.).

Тема 4

МОБИЛЬНАЯ СОТОВАЯ СВЯЗЬ

Связь называют мобильной, если источник информации либо ее получатель (или оба) в процессе обмена информацией перемещаются в пространстве.

Мобильная сотовая связь, возникнув как направление развития телефонии, вскоре объединила в себе практически все основные телекоммуникационные функции – телефонию, телеграфию, передачу данных и изображений.

4.1. ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

В данной теме под мобильной связью будем понимать *индивидуальную* мобильную радиосвязь. В первой половине XX в. нельзя было представить, что кто-то будет способен носить 30–40-килограммовый радиотелефон. Поэтому вначале были разработаны телефоны, предназначенные для монтажа исключительно в автомобилях. Но уже в 50-е годы началось уменьшение их массогабаритных характеристик.

К началу 70-х гг. телефоны весили уже «всего» 12–14 кг, при этом питание аппарата по-прежнему осуществлялось от бортовой сети автомашины. Мало кто знает, что именно Россия является первооткрывателем в области мобильной связи. В нашей стране первая полностью автоматическая дуплексная система профессиональной автомобильной радиосвязи под названием «Алтай» была разработана в 1958 г. Новшеством было то, что система сама находила свободный радиоканал, устанавливала связь, передавала набираемый телефонный номер и гарантированно связывала абонентов. Даже внешний дизайн телефона в автомобиле был изменен – вместо наборного диска были кнопки (рис. 4.1).

Но все же «Алтай» не был полноценной сотовой системой: она имела только одну ячейку, в которой была одна базовая станция с 16 радиоканалами. В условиях среднeperесеченной местности при установке антенны базовой станции на высоте 100 м дальность связи в системе «Алтай» составляла всего от 10 до 30 км.

Проблема веса и габаритов для мобильной связи, конечно, важна, но на пути развития мобильной индивидуальной связи была более серьезная проблема – увеличение числа абонентов.



Рис. 4.1. Автомобильный радиотелефон «Алтай»

Увеличение количества радиосредств при ограниченном частотном ресурсе на длинных, средних и коротких волнах приводило к сильным взаимным помехам для радиостанций, работающих на близких по частоте каналах, что значительно ухудшало качество связи.

Для повторного использования тех же частот необходимо было обеспечить как минимум стокилометровый разнос по пространству между двумя группами радиосистем. Поэтому мобильная связь, имеющая весьма малое количество каналов, вначале использовалась для нужд специальных служб (военные ведомства, органы внутренних дел, пожарная служба, скорая медицинская помощь и т. п.).

Для массового внедрения требовалось изменить сам принцип организации связи, который позволил бы устранить или хотя бы снизить влияние взаимных помех.

Исследования УКВ-диапазона волн, проводимые в 40-е гг. XX в., позволили выявить не только его основное преимущество перед короткими волнами – широкодиапазонность, т. е. большая частотная емкость, но и основной недостаток УКВ – неспособность огибать земную поверхность, поэтому дальность связи обеспечивалась только на линии прямой видимости.

Этот недостаток впоследствии был обращен лабораторией Bell Laboratories в преимущество, позволяющее использовать одни и те же частоты при достаточно небольшом расстоянии между группами абонентов, что явилось главным условием массового внедрения сотовой телефонной связи.

4.2. ПРИНЦИП РАБОТЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ

В 1947 г. лаборатория Bell Laboratories (компания AT&T) впервые выступила с предложением создать мобильную систему связи на основе принципиально новой идеи, предложенной сотрудником этой лаборатории Д. Рингом.

Идея Д. Ринга сводилась к следующему: территория покрытия разбивается на небольшие участки (*соты*) радиусом 1–5 км, каждый из которых обслуживается собственным маломощным приемопередатчиком фиксированного радиуса действия. В соседних сотах используются различные частоты.

Соты имеют форму, близкую к окружности, однако на модели их легче представить в виде шестиугольников. На рис. 4.2 все соты одного размера. Они объединены в группы по семь сот. Каждая буква соответствует определенному набору частот. Ячейками с одинаковыми наборами частот разделены на расстояние примерно двух ячеек, в которых данные частоты не используются, и это обеспечивает хорошее разделение сигналов одинаковых частот и низкий уровень помех.

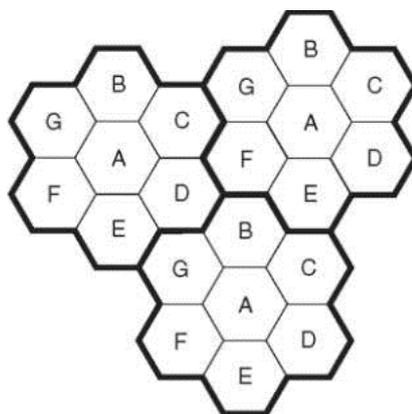


Рис. 4.2. Пример распределения частот в сотах

В центре каждой ячейки располагается *базовая приемно-передающая радиостанция*, которая обеспечивает радиосвязь в пределах ячейки со всеми абонентами.

Для обеспечения бесперебойной связи при переходе абонента от одной зоны к другой применяется *компьютерный контроль* за телефонным сигналом, излучаемым абонентом. Именно компьютерный контроль позволяет быстро, незаметно для абонента, переключать мобильный телефон с одной базовой станции на другую. При этом без прерывания связи изменяется частота настройки канала.

Размеры соты определялись максимальной дальностью связи радиотелефонного аппарата с базовой станцией. Эта максимальная дальность получила название *радиуса соты*.

Малогобаритная абонентская радиостанция – «мобильный телефон» – это комбинация телефона, приемопередатчика и мини-компьютера.

Абоненты связываются между собой через базовые станции, которые соединены друг с другом и с городской телефонной сетью общего пользования.

4.3. СТРУКТУРА СОТОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ

Структура сотовой сети связи приведена на рис. 4.3.

Первая базовая станция (БС) для системы мобильной связи была установлена 3 апреля 1973 г. на вершине 50-этажного здания в Нью-Йорке. Она могла обслуживать не более 30 абонентов и соединяла их с наземными линиями связи.

В этот день глава подразделения мобильной связи фирмы Motorola *Мартин Купер* впервые позвонил по увесистому, но уже не автомобильному, а носимому прототипу сотового телефона весом около 1 кг, высотой 25 см при толщине около 5 см.

В 1978 г. в Чикаго была открыта первая *экспериментальная* линия сотовой связи на 2 тыс. абонентов.

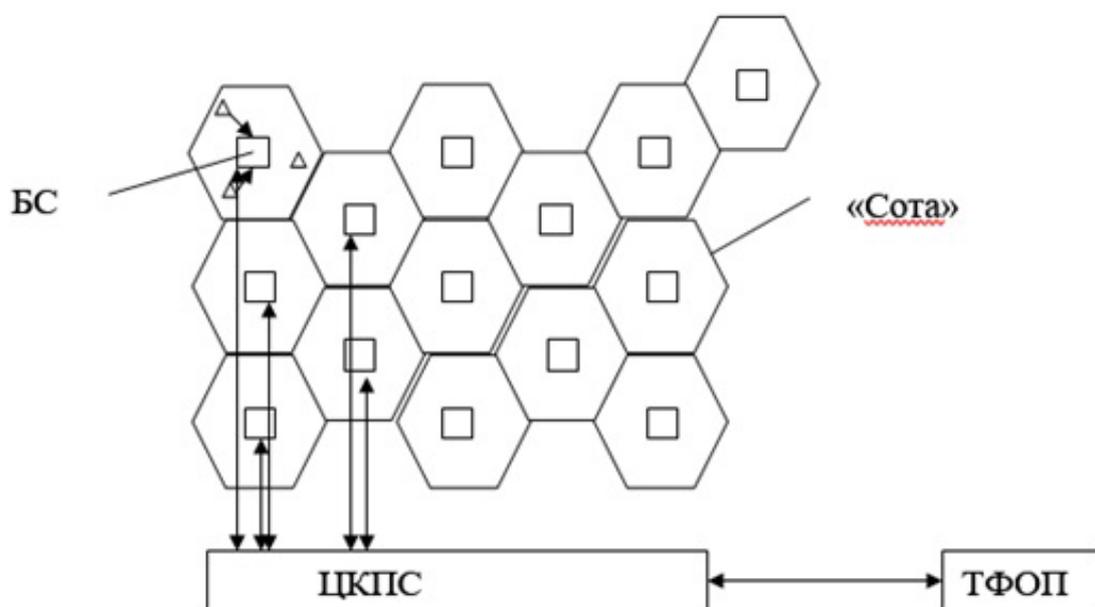


Рис. 4.3. Структура сотовой сети связи:

БС – базовая станция; ЦКПС – центр коммутации подвижной связи;
ТФОП – телефонная сеть общего пользования

Однако первая *коммерческая* линия мобильной связи была сдана в эксплуатацию не в США, а в Саудовской Аравии, причем на основе технологии, разработанной в Скандинавии. Произошло это 1 сентября 1981 г. Затем, в том же году, сеть сотовой связи открылась в Финляндии, Швеции, Норвегии, Дании, Исландии.

Только после этого мобильная связь общего пользования стала распространяться в других странах, в том числе в США. Причем в Европе получил распространение скандинавский стандарт сотовой связи NMT-450, в Америке – американский AMPS.

4.4. РАЗМЕРЫ СОТОВЫХ ЯЧЕЕК

Число абонентов в сотовой системе связи (ССС) определяется информационной пропускной способностью базовой станции и числом базовых станций (числом сотовых ячеек), которое возрастает по квадратичному закону с уменьшением радиуса рабочей зоны при одинаковых радиусах зон обслуживания.

С развитием ССС размеры сотовых ячеек уменьшаются. Если вначале радиус рабочей зоны в ССС был равен 5–30 км, то в настоящее время он составляет в среднем порядка 200 м.

Уменьшение радиуса рабочей зоны с 15 до 0,5 км (в 30 раз) при одной и той же пропускной способности базовой станции позволяет увеличить в 900 раз число подвижных абонентов ССС.

На практике размеры сотовых ячеек не одинаковы. Они меньше в зонах с повышенной плотностью абонентов и больше там, где абонентов меньше (рис. 4.4).

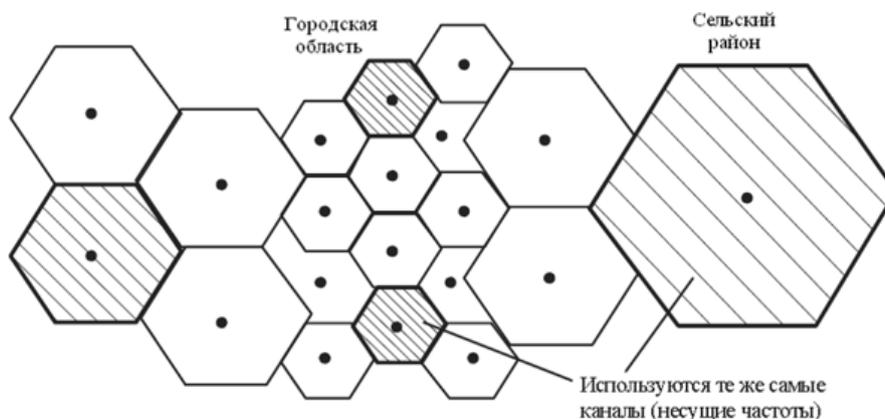


Рис. 4.4. Пример распределения размеров сотовых ячеек и взаимного разнесения ячеек с одинаковыми частотами

Кроме квадратичного увеличения числа абонентов, при уменьшении радиуса сотовых ячеек происходит снижение требования к мощности передатчика сотового телефона, так как уменьшается расстояние до базовой станции, а мощность падает пропорционально квадрату расстояния. Следствием снижения мощности является повышение длительности разряда аккумулятора, а также возможность снижения массогабаритных показателей телефона.

4.5. СТАНДАРТИЗАЦИЯ СОТОВЫХ СИСТЕМ

Представление о содержании типового стандарта можно составить, если ознакомиться с параметрами, которые оговорены в стандарте *первого поколения* сотовой связи – NMT-450 (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Основные характеристики стандарта NMT-450

Наименование параметра и характеристики	NMT-450
1. Полоса частот: – для передачи подвижной станцией, – для приема подвижной станцией	453–457,5 МГц 463–467,5 МГц
2. Частотный разнос каналов	25 (20) кГц
3. Дуплексный разнос каналов приема и передачи	10 МГц
4. Количество каналов	180 (225)
5. Радиус соты	15–40 км
6. Мощность передатчика базовой станции	макс. 50 Вт
7. Мощность передатчика подвижной станции	15 Вт

Нормируемых параметров в стандарте должно быть столько, чтобы аппаратура, выпускаемая различными производителями и в различных странах, была бы взаимозаменяема. Кроме физических параметров, приведенных в табл. 4.1, стандарт сотовой связи устанавливает единые требования к структуре кодовой последовательности (рис. 4.5).

Следующим за NMT-450 стал введенный в 1986 г. стандарт NMT-900, использующий частоты 900 МГц диапазона, что позволило увеличить число абонентов.



Рис. 4.5. Структура кодовой последовательности стандарта NMT-450

К концу 1980-х годов началось создание *второго поколения* систем сотовой связи. Новый стандарт (2G) получил название GSM – *Global System for Mobile Communications*. GSM явился первым глобальным стандартом *цифровой* мобильной сотовой связи с разделением каналов по времени (TDMA) и частоте (FDMA). Он был разработан Европейским институтом стандартизации электросвязи (ETSI). В нём реализованы *шифрование сообщений, блочное кодирование*, а также *модуляция* GSMK (Gaussian Minimum Shift Keying).

Применение частотной модуляции с минимальным сдвигом частот GSMK, благодаря «сглаживанию» переходных процессов, позволило значительно уменьшить ширину полосы частот, занимаемых цифровым радиосигналом в эфире, а следовательно, плотность размещения каналов в частотном диапазоне без взаимных помех друг другу (рис. 4.6).

Первая российская сеть стандарта GSM, созданная компанией МТС, начала подключение абонентов в июле 1994 г.

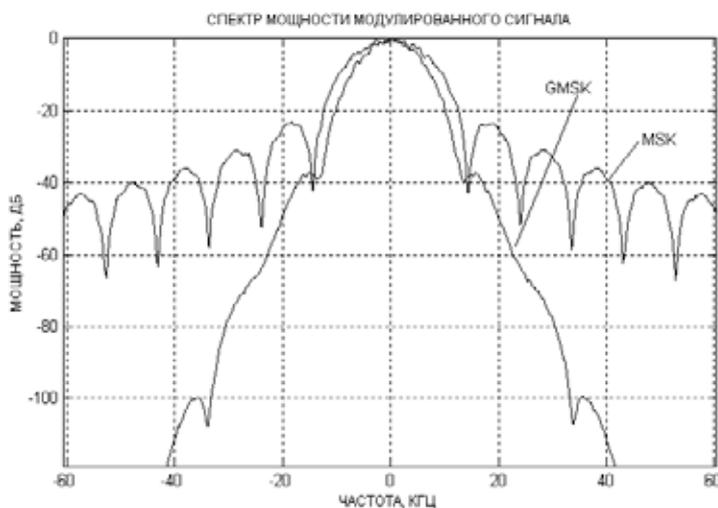


Рис. 4.6. Сравнение частотных спектров GSMK и MSK

Из основных технологий разделения каналов в сотовой системе следует выделить три основных (рис. 4.7):

FDMA (*Frequency Division Multiple Access* – множественный доступ с разделением каналов по частоте) – данная технология применяется, начиная с первого стандарта GSM, и подразумевает деление частотного диапазона на небольшие подчастоты – каналы, которые уже в пределах одной соты занимают абоненты.

TDMA (*Time Division Multiple Access* – множественный доступ с разделением по времени) – это цифровая технология передачи сигнала, позволяющая получать доступ к одному радиочастотному каналу большому числу пользователей одновременно. При этом не происходит интерференции, поскольку каждому пользователю в пределах каждого канала выделяются уникальные тайм-слоты (промежутки времени), в которых абонент уже и передает свои данные.

TDMA предлагает целый ряд преимуществ по сравнению с другими стандартными сотовыми технологиями. Основным является то, что метод TDMA может быть легко адаптирован как к передаче данных, так и к голосовой коммуникации. Это позволяет операторам предлагать абонентам персональные коммуникационные сервисы, включая факсимильную связь, SMS, голосовую почту, а также такие приложения, как мультимедийные сервисы и видеоконференции.

CDMA (*Code Division Multiple Access* – технология множественного доступа с кодовым разделением каналов). Это означает, что несколько абонентов могут пользоваться одним частотным диапазоном в одно и то же время благодаря кодовому разделению каналов. CDMA обеспечивает высокое качество связи, высокую конфиденциальность разговоров, низкий уровень шумов одновременно с низкой мощностью излучения передатчиков.

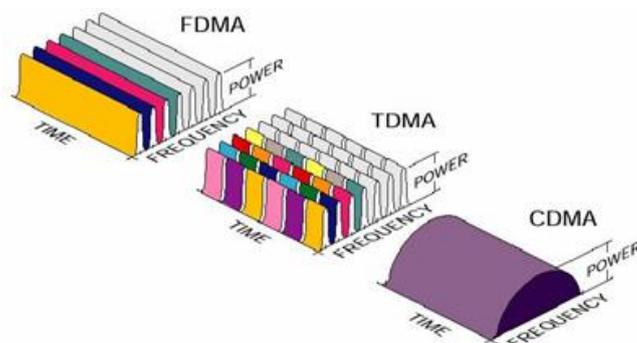


Рис. 4.7. Частотное (FDMA), временное (TDMA) и кодовое (CDMA) разделение каналов

Чтобы понять принцип работы такой системы, воспользуемся следующей аналогией: представьте комнату, в которой одновременно разговаривает друг с другом много пар людей, причем на разных языках. Каждый из них хорошо понимает своего собеседника, а все посторонние разговоры воспринимаются как некий фон и не особенно мешают разговору. Таким образом, в одном и том же радиочастотном канале одновременно передаются информационные сигналы большой группы пользователей.

Преимущества CDMA для абонента заключаются:

- в лучшем качестве передачи речи;
- безопасности – со стороны перехваченный CDMA-сигнал выглядит как шум, выделить его практически невозможно;
- меньшем энергопотреблении телефона, так как мощность сигнала в сети CDMA, по сравнению с GSM, меньше и линейно зависит от расстояния до базовой станции.

Очень часто в повседневной жизни употребляются обозначения 1G, 2G, 3G, 4G. Сама по себе английская буква G в данном контексте подразумевает начало слова generation, что переводится как «поколение». Каждое поколение сотовой связи имеет особые характеристики.

Первые мобильные телефоны 80-х годов XX в. соответствовали поколению 1G. Звуковой аналоговый сигнал – единственное, что были способны передавать первые телефоны. Скорость передачи была порядка 1,9 кбит/с.

Сети 2G стартовали в начале 90-х годов. Данный этап ознаменовался заменой аналогового сигнала на цифровой. Появилась возможность пересылки SMS-сообщений. Скорость сигнала выросла до чуть более 14 кбит/с. Следует отметить, что существует и 2,5G. Эта сеть непосредственно связана с освоением мобильного Интернета и появлением GPRS. Даже некоторые современные телефоны поддерживают данную сеть и вполне удовлетворяют запросы не самых взыскательных потребителей.

Годом создания поколения сетей 3G считается 2002. Запуск произошел в Японии, а затем 3G начали использовать в других странах. Скорость передачи сигнала – это то, чем особенно отличился этот стандарт. Она составила 2 Мбит/с и уже позволяла в реальном времени передавать видео через Интернет.

В настоящее время обладателям современных смартфонов доступна технология 4G (LTE) со скоростью обмена информацией более чем на по-

рядок выше, чем в предыдущем поколении. В эпохе 4G передача данных уже доминирует над голосовыми услугами. Неголосовые услуги становятся все более востребованными, происходит слияние телефона, компьютера и сети Интернет.

5G – это перспективный стандарт. Скорость передачи данных в коммерческом варианте сетей планируется выше LTE до 50 раз – до 10–25 Гбит/с. В 2017 г. МТС и Ericsson продемонстрировали работу на мобильном оборудовании будущей перспективной технологии 5G со скоростью до 25 Гбит/с. Такой скорости достаточно для того, чтобы часовой фильм в HD-качестве передать за три секунды. Базовая станция, использовавшаяся в тестировании, работала в диапазоне 14,5–15,3 ГГц.

Были продемонстрированы возможности будущей технологии: онлайн-трансляция потокового видео в формате 4K, работа сервисов виртуальной реальности и дистанционное управление роботом по мобильной сети, требующее сверхмалых задержек и высоких скоростей передачи данных.

4.6. ЭВОЛЮЦИЯ ТРУБОК МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ

Первый носимый сотовый телефон Мартина Купера представлял собой трубку весом около 1,15 кг и размерами 22,5×12,5×3,75 см (рис. 4.8). На передней панели было расположено 12 клавиш, из них 10 цифровых и две для отправки вызова и прекращения разговора. Дисплея и дополнительных функций в телефоне не было. Аккумулятор позволял общаться 35 мин, но заряжать его приходилось более 10 ч.



Рис. 4.8. Первый сотовый телефон

В 1987 г. фирма Nokia представила Mobira Cityman 900 – первый телефон для сетей NMT. Вес Nokia Mobira Cityman 900 составлял примерно 800 г. Цена была высокая – в пересчете на нынешние российские деньги более 200 000 руб.

Телефон Nokia 101 (1992 г.) был первым коммерчески доступным для населения устройством, способным функционировать в сетях GSM. Моноблок с монохромным экраном имел выдвижную антенну и книгу на 99 номеров (рис. 4.9).

Первый смартфон Nokia 9000 Communicator весил 397 г, имел 8 Мб памяти (в 1000–10 000 раз меньше нынешних смартфонов) и монохромный экран. Особенностью смартфона была QWERTY-клавиатура, упрощающая работу с текстом (рис. 4.10).

Sharp J-SH04 – первый телефоном с фотокамерой. Он вышел в Японии в 2000 г. Сегодня разрешение этой камеры является крайне низким – 0,1 Мп, однако тогда J-SH04 представлялся чем-то невероятным. Памяти хватало лишь на пару десятков снимков.

Первым массовым смартфоном с камерой 0,3 Мп стала Nokia 7650, которая появилась в 2002 г. (рис. 4.11).



Рис. 4.9. Телефон Nokia 101



Рис. 4.10. Первый смартфон Nokia 9000 Communicator



Рис. 4.11. Телефон Nokia 7650

В 2005 г. мало кто мог представить, что фирма Apple, специализирующаяся на компьютерах и музыкальных плеерах, решится на выпуск мобильных телефонов.

Первая версия Apple iPhone вышла в США в 2007 г. У телефона был 3,5-дюймовый сенсорный экран, 2-мегапиксельная камера, удобный интерфейс. Аппарат поддерживал только сети второго поколения.

В 2008 г. вышел iPhone 3G. Концепция за три года не менялась – в центре внимания разработчиков были разнообразные программные приложения и удобный интерфейс.

В 2009 г. Apple предложила iPhone 3GS. В нём уже были 3 Мп, автофокус, функция записи видео VGA-качества (640×480 пикселей).

В 2010 г. выходит iPhone 4 с камерой на 5 Мп. У него появились вспышка и функция записи HD-видео (1920×1080 пикселей), а также фронтальная камера *FaceTime* для селфи.

iPhone 6 2014 г. выпуска был оснащен новым 12-мегапиксельным модулем для фото- видеосъемок.

В 2016 г. вышли iPhone 7 plus, Samsung Galaxy S7 и ряд других телефонов-флагманов достаточно большого количества фирм, обладающих вычислительными характеристиками, не уступающими настольным компьютерам, и фотографическими – на уровне профессиональных фотокамер.

Интересно проследить эволюцию размеров сотовых телефонов. До определенного времени они уменьшались в связи с ростом степени интеграции электронных компонентов, но затем по мере возрастания роли видеоконтента и необходимости повышения качества его восприятия и разрешающей способности стали увеличиваться размеры экрана, но продолжилась тенденция уменьшения толщины корпуса (рис. 4.12). В настоящее время прорабатываются технологии «гибкого» экрана и корпуса.



Рис. 4.12. Эволюция размеров сотовых телефонов

Областью, в которой начинают использоваться мобильные телефоны, является *m-commerce* (мобильная торговля). Короткие текстовые сообщения с мобильного телефона используются вместо наличных денег и кредитных карт для оплаты продуктов в торговых автоматах, билетов в кино и других сферах жизни. Оплата будет включена в счет мобильного телефона, снабженного технологией NFC (Near Field Communication).

6 марта 2017 г. исполнилось 34 года с момента создания сотового телефона. Мобильные телефоны стремительно совершенствуются. Однако технические характеристики уже не так важны, как раньше, поскольку сегодня производители много внимания уделяют функциональным возможностям, эргономике, дизайну, интеграции с социальными сервисами, магазинам приложений.

Контрольные вопросы к теме 4

1. Основные принципы действия мобильной сотовой связи.
2. В чем преимущества УКВ-диапазона для организации сотовой связи по сравнению с более длинными радиоволнами?
3. По какому маршруту передается сигнал в системе сотовой связи от абонента к абоненту?
4. Достижимые эффекты при уменьшении размеров ячеек сотовой связи.
5. В чем состоит преимущество модуляции GMSK по сравнению MSK для сотовых систем связи?
6. Цифровые стандарты сотовой связи и их преимущества по сравнению с аналоговыми.
7. Какие технологии определяют тенденции развития смартфонов?

Список рекомендуемой литературы

1. Каганов, В. И. Радиотехника: от истоков до наших дней : учеб. пособие / В. И. Каганов. – М. : Форум : НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 352 с.
2. Штыков, В. В. Введение в радиоэлектронику : учебник и практикум для вузов / В. В. Штыков. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2016. – 271 с.
3. Богомолов, С. И. Введение в специальность «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» : учеб. пособие. – Томск : Факультет дистанционного обучения ТУСУР, 2010. – 162 с.
4. Украинцев, Ю. Д. История связи и перспективы развития телекоммуникаций : учеб. пособие / Ю. Д. Украинцев, М. А. Цветов. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – 128 с.

Тема 5

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ

5.1. ОПТИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ

Волоконная оптика как направление техники связи возникла после 1950 г. В это время научились делать тонкие двухслойные волокна из различных прозрачных материалов (стекло, кварц и др.).

Было установлено, что если соответствующим образом выбрать оптические свойства внутренней («сердцевины») и наружной («оболочки») частей такого волокна, то луч света, введенный через торец в сердцевину оптоволокна, будет только по нему и распространяться, отражаясь от оболочки. Даже если волокно изогнуть, луч будет удерживаться внутри. Таким образом, световой луч, попадая в оптическое волокно, может распространяться по любой криволинейной траектории (рис. 5.1).

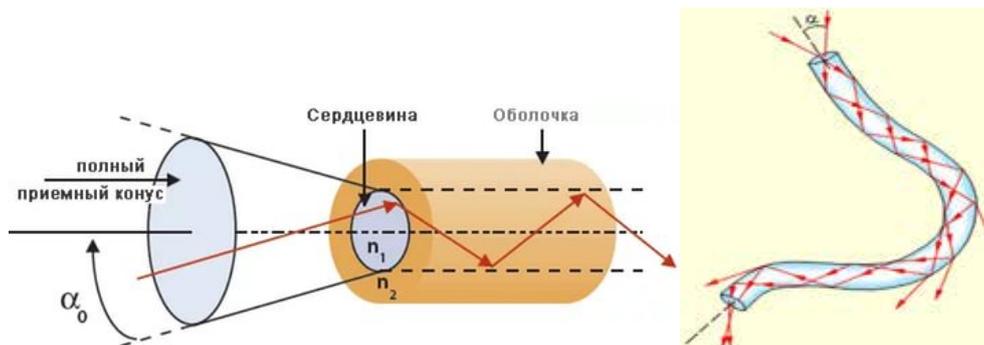


Рис. 5.1. Распространение света в оптическом волокне

По аналогии с проводом для электрического тока оптическое волокно часто называют *световодом*.

Стеклянные или кварцевые волокна толщиной всего в 2–3 раза больше человеческого волоса обладают высокими гибкостью (их можно наматывать на катушку) и прочностью (прочнее стальных нитей того же диаметра). Однако световоды 50-х годов были недостаточно прозрачны, и при длине 5–10 м свет в них практически полностью поглощался.

В 1966 г. английский инженер *Чарльз Као* обнаружил причину быстрого рассеяния света и придумал, каким образом его можно избежать: свет рассеивался на металлических примесях в стекле. Стекло, очищенное от примесей железа, оказалось более дорогим, но значительно лучшим проводником света. С волокном из самого чистого стекла стало возможным

передавать сигналы на многие десятки километров. Первое ультрачистое волокно было успешно изготовлено в 1970 г. За этот результат Ч. Као в 2009 г. получил Нобелевскую премию по физике.

В результате многочисленных экспериментов Ч. Као и его коллеги обнаружили, что наиболее подходящим материалом для волокна является *диоксид кремния* – это именно тот материал, который используется в современной электронике.

В зависимости от распределения показателя преломления и от величины диаметра сердечника оптоволокон подразделяются на *одномодовые* и *многомодовые* (рис. 5.2).

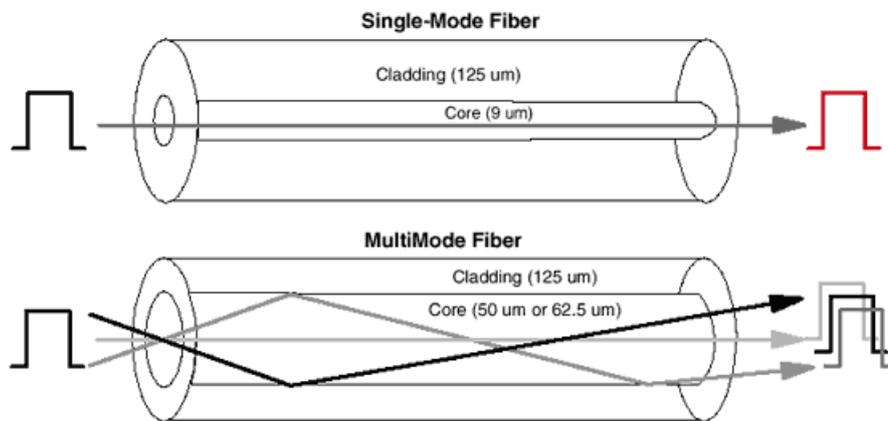


Рис. 5.2. Одномодовое и многомодовое оптоволоконно

Многомодовое оптоволоконно, или **MultiMode (MM)**, способно передавать несколько независимых световых сигналов (мод), которые различаются фазами или длинами волн. В него можно запустить сразу несколько сотен световых мод, которые вводятся под разными углами. Однако в таком волокне возникает модовая дисперсия, иначе говоря, – рассеивание. В результате уменьшается пропускная способность и расстояние между повторителями (ретрансляторами) сигнала. Пропускная способность многомодового оптоволоконно составляет до 2,5 Гбит/с.

Одномодовое оптоволоконно (одномод), или **SingleMode (SM)**, передает только одну моду (один световой сигнал). Поскольку такое волокно имеет сердечник диаметром 10 мкм и меньше (очень тонкий), при передаче сигнала наблюдается меньшая модовая дисперсия. Это позволяет передавать сигнал на большие расстояния, не используя повторители. Однако одномодовое оптоволоконно и сопутствующие его компоненты приема-передачи оптического сигнала стоят дороже. Пропускная способность одномодового оптоволоконно составляет 10 Гбит/с и более.

Как правило, многомодовый кабель используют при монтаже волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) небольших длин, например для соединения помещений внутри здания или отдельных зданий при расстояниях, не превышающих 5 км. При больших расстояниях предпочтительно использовать одномодовый оптический кабель.

Параметры современного оптоволокна значительно превышают достигнутые Ч. Као. Оно способно проводить свет с потерями не более 5 % на каждый километр длины.

В 1988 г. был проложен первый межконтинентальный оптоволоконный кабель длиной 6 000 км, связавший Америку с Европой. С течением времени и развитием массового производства волоконная оптика дешевела, и теперь даже в обычную квартиру проводят оптоволокно, а по всей планете его уложено уже больше миллиарда километров (более чем шесть расстояний от Земли до Солнца). ВОЛС в настоящее время считаются самой совершенной физической средой для передачи информации.

В системах связи используются три диапазона длин волн: 0,85, 1,30 и 1,55 мкм (рис. 5.3). Все три диапазона обладают полосой пропускания от 25 000 до 30 000 ГГц.

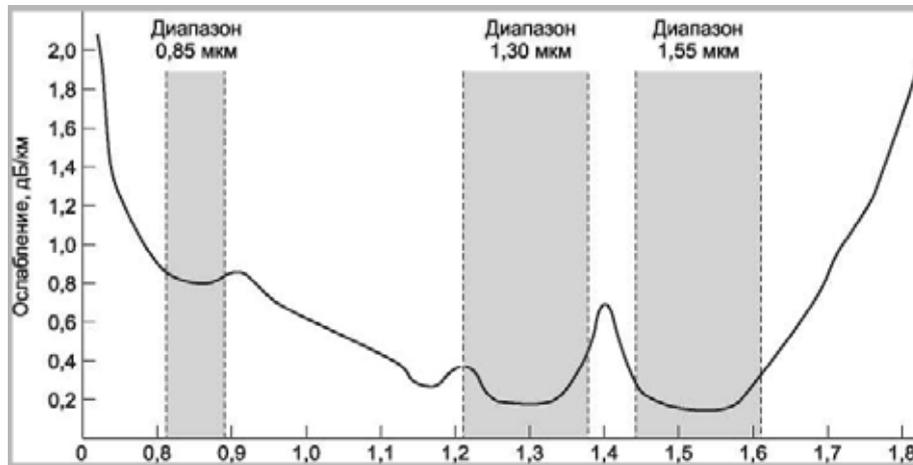


Рис. 5.3. Ослабление света в инфракрасной области спектра при прохождении через оптическое волокно

Первым стал применяться диапазон вокруг 0,85 мкм. Он обладает более высоким ослаблением, поэтому используется для передачи на короткие расстояния. У двух остальных диапазонов показатели по ослаблению лучше (менее 5 % потерь на километр).

В настоящее время широко используется диапазон 1,55 мкм и волоконные усилители с добавкой эрбия.

5.2. ИСТОЧНИКИ СВЕТА ДЛЯ ВОЛС

Кроме решения проблемы повышения прозрачности оптоволокна для оптических систем дальней связи необходим был мощный источник света.

В 1954 г. российские ученые *Н. Г. Басов* и *А. М. Прохоров* и независимо от них американский физик *Ч. Таунс* использовали явление индуцированного излучения для создания микроволнового газового генератора радиоволн с длиной волны 1,2 см, получившего название «мазер» (Micro-wave amplification by stimulated emission of radiation). В 1963 г. *Н. Г. Басов*, *А. М. Прохоров* и *Ч. Таунс* были удостоены Нобелевской премии.

В 1960 г. американский ученый *Т. Мейман* создал квантовый генератор на рубине, индуцирующий излучение оптического диапазона (оптический квантовый генератор). Новый генератор назвали «лазер». Этот термин образовался в результате замены буквы «м» в слове мазер на букву «л» (от англ. слова light – свет).

Рубиновый кристалл, с которым работал *Т. Мейман*, имел форму стержня, на торцевых поверхностях которого путем нанесения серебра были сформированы отражающие зеркала (рис. 5.4).

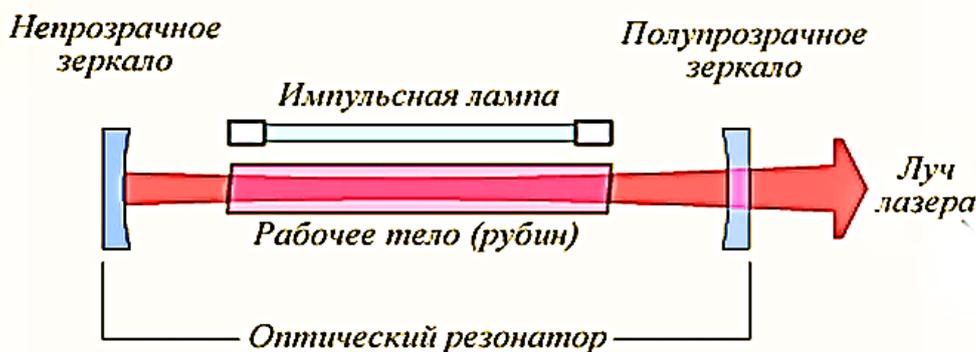


Рис. 5.4. Принцип работы рубинового лазера

В лазере Меймана импульсная лампа «накачивает» энергию в рубиновый стержень. В веществе стержня, возбужденном световой вспышкой, индуцируются фотоны красного цвета. Отражаясь в зеркалах, свет накапливается, фокусируется и выходит в форме лазерного луча. Так как все фотоны когерентны (совпадают по фазе), то луч света практически не рассеивается.

После создания первых мазеров и лазеров начались работы, направленные на их использование в системах связи. Возросший интерес к опти-

ческой связи с помощью лазерного излучения был вызван тем, что информационная емкость светового диапазона волн на несколько порядков превышает возможности радиодиапазона. Особенно эффективным оказалось соединение свойств лазера и оптического волокна.

В 1973–1974 гг. расстояние, которое лазерный луч мог пройти по волокну, достигло 20 км, а к началу 80-х годов превысило 200 км. Скорость передачи информации по ВОЛС возросла до значений в несколько Гбит/с.

К 1975–1976 гг. потери в оптическом волокне были снижены до нескольких децибел на километр, а в 1977 г. были получены предельные для используемой технологии потери в 0,20 дБ/км (около 5 % по мощности). Началось стремительное развитие технологий, связанных с ВОЛС:

- появление новых методов изготовления волокон;
- создание необходимых элементов (миниатюрные лазеры, фотоприемники, оптические разъемные соединители и т. п.).

В 1990 г. *Линн Моллинар*, сотрудник фирмы *Bellcore*, продемонстрировал возможность передачи сигнала без регенерации со скоростью 2,5 Гбит/с на расстояние около 7 500 км. Таким образом, были созданы условия для прокладки волоконного кабеля по дну Тихого и Атлантического океанов с целью создания ВОЛС, не требующей установки промежуточных усилителей.

В современных ВОЛС световой луч обычно формируется полупроводниковым или диодным лазером.

Значительный вклад в технику ВОЛС внес российский ученый, лауреат Нобелевской премии *Жорес Иванович Алферов*.

В 1970 г. академик Ж. И. Алферов впервые реализовал полупроводниковый лазер на основе двойной гетероструктуры AlAs-GaAs с непрерывной генерацией при комнатной температуре. За это научное открытие он был удостоен Нобелевской премии. Именно такие лазеры позволили создать многие устройства (CD-рекордеры и т. п.), без которых невозможно было проникновение высоких информационных технологий в нашу повседневную жизнь.

В 1995 г. Ж. И. Алфёров со своими сотрудниками впервые продемонстрировал инжекционный гетеролазер на квантовых точках, работающий при весьма малых токах потребления в непрерывном режиме при комнатной температуре. Он нашел широкое применение в качестве источника излучения в волоконно-оптических линиях связи повышенной дальности.

Появление новых высокоэффективных лазеров позволяет значительно повысить скорость и дальность передачи информации в ВОЛС не только на основе одномодовых, но и многомодовых волокон. Благодаря развитию высоких технологий производства оптических передатчиков и приемников, сетевых технологий и технологий спектрального уплотнения и обеспечены высочайшие темпы развития ВОЛС.

Существующая ныне оптоволоконная технология может развивать скорость передачи данных вплоть до 50 000 Гбит/с (50 Тбит/с), и до достижения ее физического предела нам еще далеко. Сегодняшний практический предел в 100 Гбит/с обусловлен нашей неспособностью быстрее преобразовывать электрические сигналы в оптические и обратно. Для того чтобы достичь более высокой скорости, по одному волокну одновременно нужно передать данные нескольких каналов.

5.3. ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ВОЛС

Основные преимущества ВОЛС, по сравнению с электрическими кабельными линиями, состоят в следующем:

- 1) сверхвысокая скорость передачи информации (несколько Тбит/с);
- 2) ВОЛС не подвержены действию внешних электромагнитных помех из-за отсутствия электронной проводимости жилы кабеля;
- 3) высокая защищенность от перехвата информации, так как световой сигнал не проходит через оболочку ВОЛС;
- 4) отличные массогабаритные показатели, поскольку применяемые материалы имеют малую удельную массу;
- 5) простота прокладки, монтажа и эксплуатации оптического кабеля, возможность совмещения ВОЛС с любыми другими коммуникациями вследствие невосприимчивости ВОЛС к внешним помехам;
- 6) в волоконных световодах в отличие от электрических цепей в принципе невозможно искрение, что позволяет использовать их во взрывоопасных объектах;
- 7) малая стоимость, обусловленная тем, что материал световода (диоксид кремния) имеет неограниченный сырьевой ресурс (песок), тогда как основу проводных линий составляют такие дорогие металлы, как медь и свинец.

Перечисленные преимущества являются весьма существенными и этим объясняется стремительное внедрение в информационные сети оптических линий связи. В настоящее время в мировом информационном трафике именно ВОЛС играют главную роль.

Контрольные вопросы к теме 5

1. Первые лауреаты Нобелевской премии по физике в области квантовых генераторов.
2. Принцип работы лазера.
3. Назначение и принцип действия оптоволоконного кабеля.
4. Различия между одномодовыми и многомодовыми световодами. Их достоинства и недостатки.
5. Основные преимущества ВОЛС по сравнению с электрическими кабелями.
6. Вклад Ж. И. Алферова в создание техники для ВОЛС.

Список рекомендуемой литературы

1. Штыков, В. В. Введение в радиоэлектронику : учебник и практикум для вузов / В. В. Штыков. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2016. – 271 с.
2. Таненбаум, Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – 5-е изд. – СПб. : Питер, 2012. – 960 с.
3. Украинцев, Ю. Д. История связи и перспективы развития телекоммуникаций : учеб. пособие / Ю. Д. Украинцев, М. А. Цветов. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – 128 с.

Тема 6

ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Телевидение – это область науки, техники и культуры, связанная с передачей зрительной информации (подвижных изображений) на расстояние радиоэлектронными средствами.

6.1. ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА

Как и другие сложные технические решения, телевидение появилось и развилось благодаря усилиям многих изобретателей.

Все системы телевидения основаны на принципе последовательной передачи элементов изображения (точек, пикселей) с помощью развёртки. Частота смены кадров изображения выбирается исходя из критерия плавности передачи движения. В аналоговых системах телевидения частота кадров была 25 Гц (50 Гц при чересстрочной развертке) при 625 строках в кадре (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Принцип развертки изображения

6.2. ФОТОЭФФЕКТ – ФИЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА ТЕЛЕВИДЕНИЯ

В основе первых систем телевидения лежит открытие фотоэффекта в селене, сделанное Уиллоуби Смитом в 1873 г. Фотоэффект – это эффект испускания электронов веществом под воздействием света.

Большой вклад в изучение фотоэффекта внёс русский физик *Александр Григорьевич Столетов*, проводивший детальные опыты по изучению фотоэффекта в 1888–1890 гг. Для этого он сконструировал специальный прибор, состоявший из двух параллельных дисков. Один из этих дисков, *катод*, сделанный из металла, находился внутри стеклянного корпуса. Другой диск, *анод*, представлял собой металлическую сетку, нанесённую на изготовленный из кварцевого стекла торец корпуса. Из корпуса

откачивался воздух. К каждому из дисков подводилось напряжение: к катоду отрицательное, к аноду положительное.

Катод освещался светом разной интенсивности. Величина тока регистрировалась гальванометром. Столетов обнаружил, что ток электронов линейно зависел от силы света (рис. 6.2). Наиболее чувствительными к свету оказались катоды, изготовленные из алюминия, меди, цинка, серебра, никеля. А в 1905 г. Альберт Эйнштейн объяснил явление фотоэффекта как вариант закона сохранения и превращения энергии.

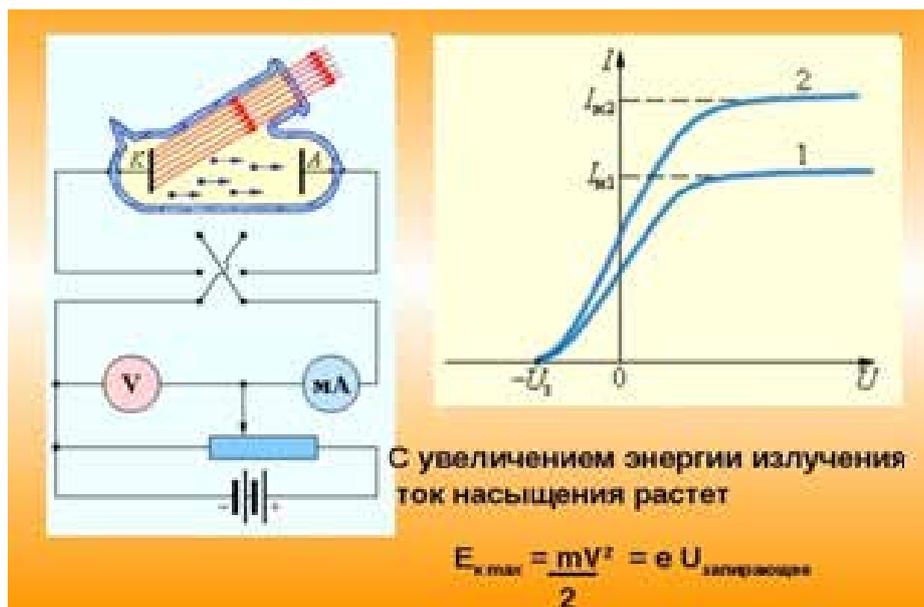


Рис. 6.2. Схема опытов Столетова по исследованию фотоэффекта

6.3. ПРИНЦИП МЕХАНИЧЕСКОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Исторически первой была реализована система механического телевидения. В 1883 г. немецкий студент *Пауль Нипков* придумал способ последовательного механического разложения (развертки) передаваемого изображения на отдельные элементы с помощью вращающегося диска с отверстиями.

Свет от элементов предмета через отверстия диска поступал на фотоэлемент (рис. 6.3). На приемном конце была установлена лампа, яркость которой изменялась в соответствии с сигналом фотоэлемента. Свет от лампы проходил через отверстие приемного диска Нипкова, который вращался синхронно с передающим. В результате на экране воспроизводилось изображение, похожее на изображение предмета. Частота кадров была равна числу полных оборотов диска в секунду.

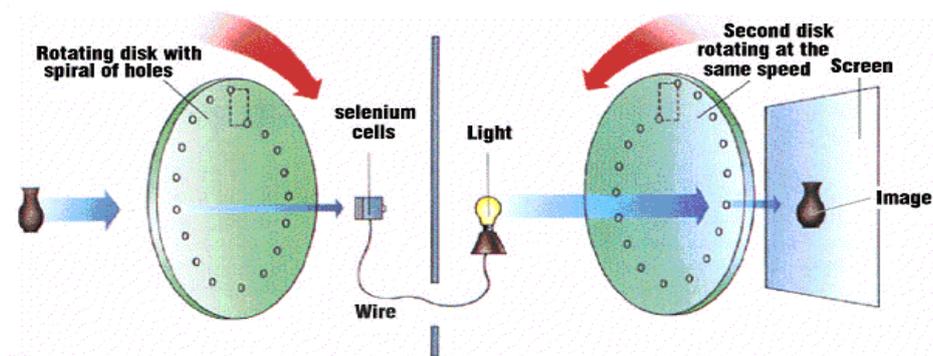


Рис. 6.3. Схема механического телевидения Нипкова

Диск Нипкова в разных видоизменениях стал непременным элементом систем механического телевидения, разрабатывавшихся в последующие полвека.

Основанные на диске Нипкова телевизионные системы (рис. 6.4) практически были реализованы лишь в 1925 г. Дж. Бэрдом в Великобритании, Ч. Дженкинсом в США и Л. С. Терменом в СССР.

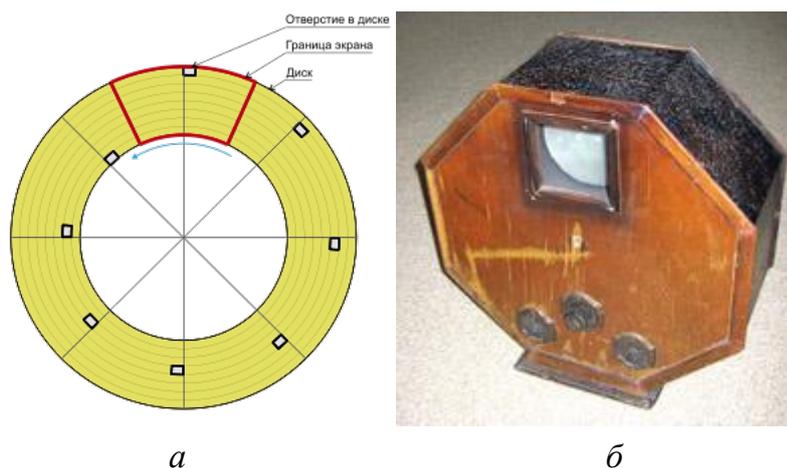


Рис. 6.4. Первый телевизор на механическом принципе:
 а – границы изображения, формируемого диском Нипкова;
 б – внешний вид механического телевизора

Вплоть до конца 40-х годов XX в. развитие телевидения шло в двух направлениях – механическом и электронном, и только потом электронное телевидение вытеснило механическое.

6.4. ИЗОБРЕТЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

В 1879 г. английским физиком *Уильямом Круксом* были открыты вещества – люминофоры, способные светиться при воздействии на них потоком электронов.

В 1897 г. немецкий физик *Карл Фердинанд Браун* изобрел катодно-лучевую трубку, т. е. создал основу для развития электронного телевидения. В трубке Брауна электронный луч отклонялся с помощью электромагнита только в одном измерении, второе направление развёртывалось с помощью вращающегося зеркала (рис. 6.5).

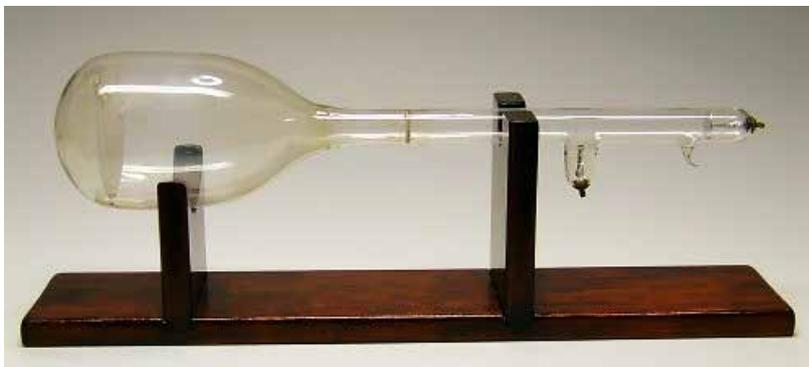


Рис. 6.5. Катодная трубка Брауна

С 1902 г. с трубкой Брауна работал русский ученый *Борис Львович Розинг*. 25 июля 1907 г. он подал заявку на изобретение «Способ электрической передачи изображений на расстояния». Патенты в Англии и Германии были получены Розингом в 1908–1910 гг. Согласно патентному описанию *«изображение воспроизводится последовательно точка за точкой на флуоресцирующем экране трубки Брауна или другого подобного прибора пучком катодных лучей, совершающих движения, подобные и синхронные с движением осей световых пучков, идущих на станции отправления от элементов изображаемого поля к фотоэлектрическому приемнику»*.

В приемной трубке Розинга электронный луч, эмитируемый катодом K , совершает под воздействием отклоняющих электромагнитов E и F построчное движение по флуоресцирующему экрану P . Розинг предложил ввести в катодную трубку управляющие пластины d , на которые подается сигнал от «фотоэлектрического приемника». Благодаря этому через диафрагму D проходит электронный луч большей или меньшей интенсивности в зависимости от потенциала на пластинах d . Модулированный таким образом луч вызывает свечение флуоресцирующего экрана с различной яркостью в разных точках соответственно передаваемому изображению (рис. 6.6).

Приемная телевизионная трубка Розинга в дальнейшем получила название *кинескоп*.

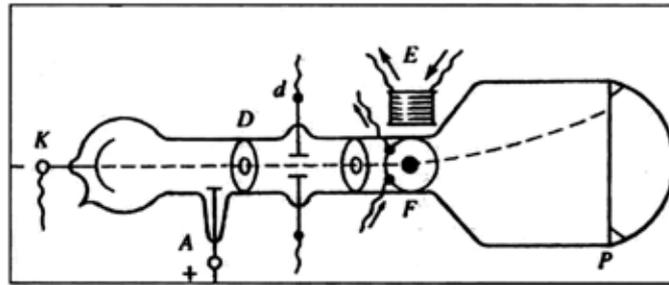


Рис. 6.6. Кинескоп Розинга

9 мая 1911 г. на заседании Русского технического общества Розинг продемонстрировал передачу телевизионных изображений простых геометрических фигур и приём их с воспроизведением на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). На демонстрациях присутствовал и студент 5-го курса *Владимир Константинович Зворыкин*, помогавший Б. Л. Розингу в проведении экспериментов. По окончании в 1912 г. Петербургского технологического института В. К. Зворыкин продолжил работу по созданию системы электронного телевидения.

В 1919 г. В. К. Зворыкин эмигрировал из России, опасаясь быть подвергнутым репрессиям. Развитием системы электронного телевидения он занимался в Америке в исследовательской лаборатории фирмы Westinghouse Electric, а затем в Radio Corporation of America (RCA).

Ему удалось создать главный компонент системы электронного телевидения – передающую трубку с накоплением зарядов, которую он назвал *иконоскопом* (по-гречески «наблюдать изображение»), запатентованную им в 1923 г., а в 1929 г. он запатентовал и более совершенный по сравнению с известными *вакуумный кинескоп* (рис. 6.7), позволявший получать за счет тонкого сфокусированного электронного луча изображение с весьма высокой четкостью.

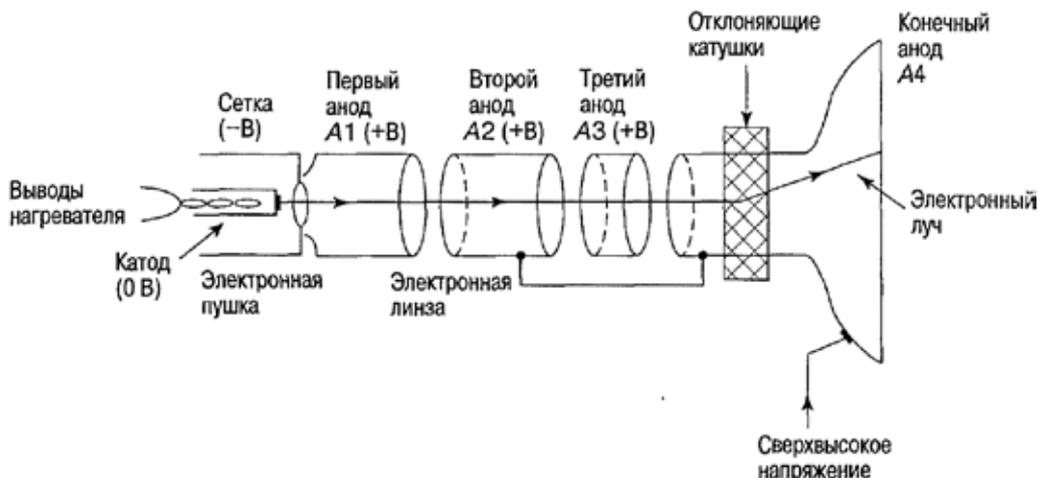


Рис. 6.7. Схема кинескопа Зворыкина

Иконоскоп (рис. 6.8) – первая электронная передающая телевизионная трубка, позволившая начать массовое внедрение телевидения.

Принципиально важным в этой трубке было то, что фотокатоды из серебряных зерен на пластине слюды «запоминали» заряды, образуемые фокусируемым на них изображением, а сканирующий электронный луч «считывал» эти заряды и тем самым модулировался, т. е. менял свою силу в соответствии с яркостью точек изображения.

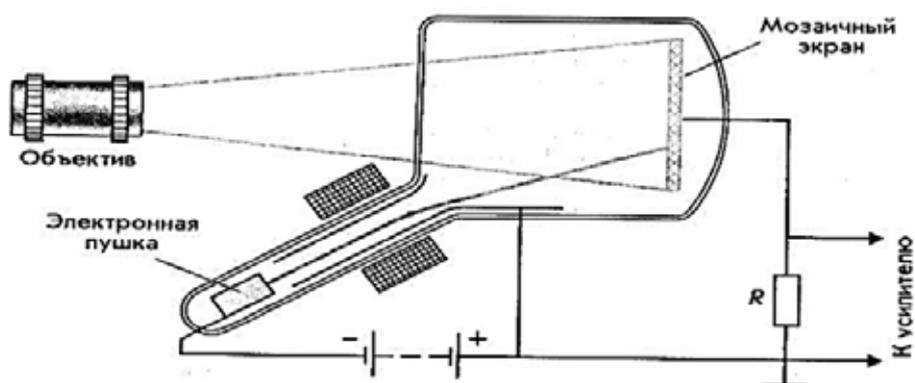


Рис. 6.8. Схема иконоскопа Зворыкина

По совокупному вкладу в создание и развитие телевизионных компонентов и системы в целом принято считать, что именно В. Зворыкин является изобретателем электронного телевидения.

26 июня 1933 г. Зворыкин выступил на годичной конференции Американского общества радиоинженеров с докладом, в котором подвел итоги своей работы над передающей телевизионной трубкой и сообщил о разработке им с группой сотрудников полностью электронной ТВ-системы (рис. 6.9) с чёткостью около 300 строк.



Рис. 6.9. Система телевидения Зворыкина

В 1933 г. В. К. Зворыкин был приглашен в СССР, где был заключен договор о поставках оборудования, разработанного В. К. Зворыкиным, для Московского телецентра.

В 1938 г. телевизионная программа этого центра вышла в эфир. 25 марта 1938 г. Московский телецентр начал опытные передачи. Первым в эфир вышел кинофильм «Великий гражданин». 5 ноября того же года была организована трансляция большого праздничного концерта.

Много лет спустя директор исследовательской лаборатории компании RCA назвал В. К. Зворыкина «лучшим подарком, который Россия сделала Америке».

К настоящему времени эра иконоскопов и кинескопов практически завершилась. Начало этому было положено в 1968 г., когда Дж. Хейлмейер (США) создал дисплей на жидких кристаллах – Liquid Crystal Display (LCD) (рис. 6.10), и начался переход от электронно-лучевых трубок к плоским экранам как в телевизорах, так и в компьютерах.

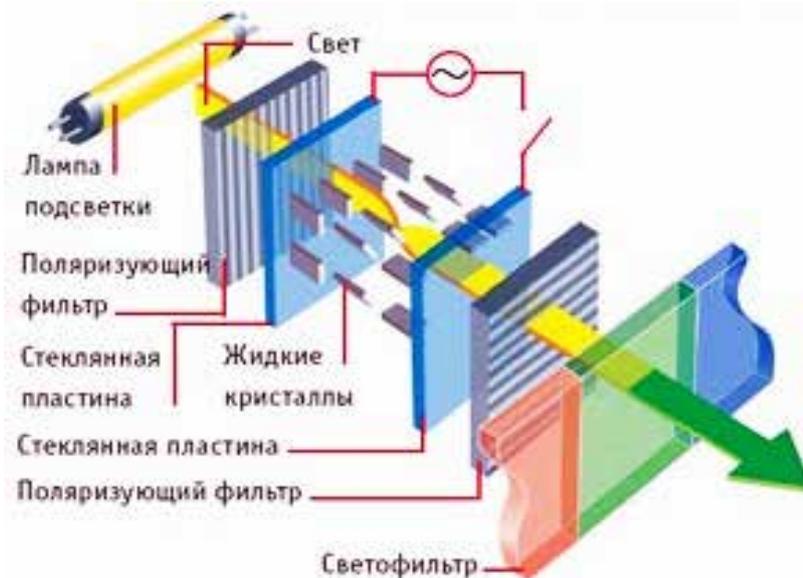


Рис. 6.10. Устройство жидкокристаллического дисплея

В 1969 г. Уиллардом Бойлом и Джорджем Смитом в лабораториях Белла (AT&T Bell Labs) был изобретен прибор с зарядовой связью (ПЗС) – специализированная аналоговая интегральная микросхема, состоящая из светочувствительных фотодиодов, выполненная на основе кремния. ПЗС-матрицы (рис. 6.11), выполняемые по технологиям микроэлектроники, вытеснили иконоскопы из передающих телевизионных и видеокамер. В 2009 г. создатели ПЗС-матрицы были награждены Нобелевской премией по физике.

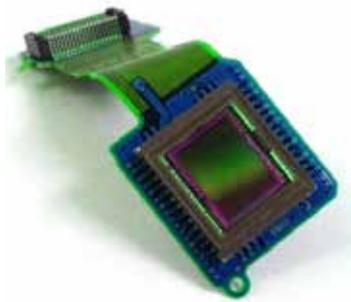


Рис. 6.11. ПЗС-матрица

6.5. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Первые идеи создания систем передачи цветного изображения по радиоканалам, так же как и многие другие идеи, возникли задолго до того, как появились технические возможности их реализации.

В 1900 г. русский ученый *Александр Аполлонович Полумордвинов* на основе трехкомпонентной теории цветовосприятия создал первый проект *механической* ТВ-системы с последовательной передачей цветов. Однако действующего образца ему создать не удалось.

Согласно трехцветной модели любой цвет изображения может быть воспроизведен в результате суммирования в определенных пропорциях трех основных цветов – красного, синего и зеленого (рис. 6.12). При этом необязательно, чтобы все составляющие цвета были абсолютно точно совмещены (рис. 6.13), достаточно только, чтобы они были размещены настолько близко друг к другу, чтобы глаз воспринимал эту «триаду» как одну точку (пиксель), либо воспроизводились последовательно, но достаточно быстро.

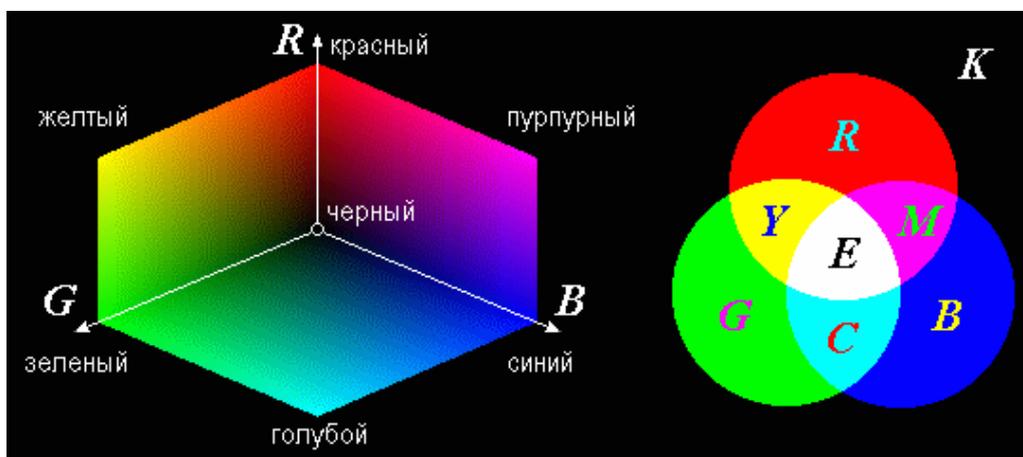


Рис. 6.12. Трехкомпонентная модель цветовоспроизведения в цветном телевидении

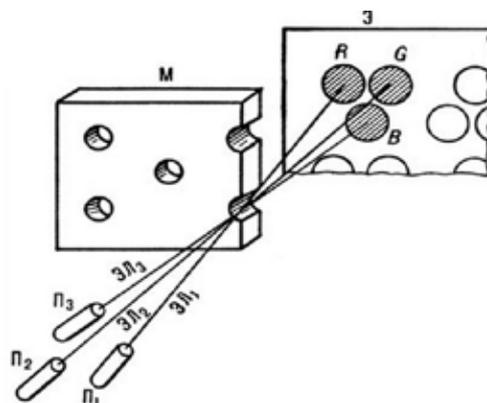


Рис. 6.13. Принцип работы цветной ЭЛТ

В системе цветного телевидения из исходного цветного изображения с помощью фильтров выделяются три указанные спектральные области, информация об интенсивности которых передается по каналу связи, а на приемном конце вновь воспроизводится их сумма по алгоритму, соответствующему тому или иному стандарту.

Первым удалось осуществить практическую демонстрацию механической системы цветного ТВ Дж. Бэйрду в Англии в 1928 г. При этом был использован принцип последовательной передачи трёх изображений основных цветов – красного, синего и зеленого.

Первый коммерческий электронный цветной телевизор RCA СТ-100 был разработан В. К. Зворыкиным в 1954 г.

Эта модель была оснащена 15-дюймовым экраном. Несколько позже были разработаны модели с диагоналями 19 и 21 дюйм. Стоили такие системы дороже тысячи долларов США, а следовательно, были доступны далеко не всем.

Из-за сложностей повсеместной организации цветного телевидения цветные модели телевизоров не могли быстро вытеснить черно-белые, и долгое время оба вида телевизоров производились параллельно.

6.6. СТАНДАРТЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

С целью обеспечения взаимной совместимости телевизионных программ различных стран и телевизионной аппаратуры, изготовленной различными производителями в 40-х годах XX в. были разработаны стандарты на системы черно-белого ТВ-вещания. Стандарт телевизионного вещания регламентирует порядок формирования телевизионного сигнала для его эфирной передачи.

Уже в эпоху чёрно-белого телевидения возникло несколько разных *стандартов разложения* изображения, отличавшихся числом строк, частотой кадров и другими параметрами. Чем выше число строк, тем выше качество и четкость изображения, но тем шире должна быть используемая полоса частот, соответственно сокращается число каналов в отведенном диапазоне частот.

Европейский, в том числе российский, стандарт разложения для передачи использует 625 строк, из которых видимых на экране 576 (рис. 6.14).

Согласно этому стандарту передача видеосигналов осуществлялась с помощью амплитудной модуляции (АМ) с одной (верхней) боковой полосой частот (ОБП). Нижняя боковая полоса частот при этом частично подавлялась. Звуковой сигнал было решено передавать методом частотной модуляции несущей звука ($f_{н.з}$), расположенной выше спектра видеосигнала. Этот метод передачи аналогового телевидения используется до настоящего времени.

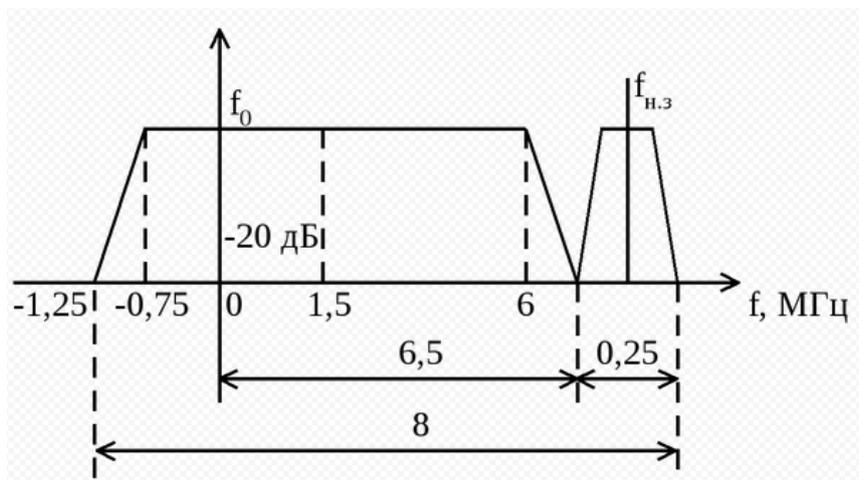


Рис. 6.14. Европейский стандарт на спектр сигналов телевидения

Американский стандарт использует 525 строк, из которых активными являются – 480 (стандарт VGA). Соответственно картинки на экранах телевизоров, использующих этот стандарт (число эквивалентных «пикселей»), примерно на 16 % хуже, чем при использовании европейского стандарта, зато соответственно снижается полоса частот сигнала и уровень шума. Во Франции применялась система с 819 строками, которая в настоящее время не используется.

С переходом к цветному телевидению увеличилось число систем, так как на разные стандарты разложения накладывались стандарты кодирования

цвета. Современные аналоговые системы цветного ТВ-вещания стандартов NTSC, PAL и SECAM были разработаны в 50-60-е годы XX в., и в 1966 г. на Пленарной Ассамблее МККР в Осло было рекомендовано их применение.

В Европе были приняты французская телевизионная система кодирования телевизионного сигнала SEKAM и немецкая PAL. В странах Америки – NTSC.

В СССР внедрение системы SECAM началось в 1967 г.

Новая эра в развитии ТВ-вещания наступила в 1994 г., когда создаются европейские стандарты *цифрового* ТВ DVB (Digital Video Broadcasting) и северо-американский стандарт ATSC (Advanced Television System Committee), определяющие способы передачи информационного цифрового потока по разным каналам связи (наземным, радио, кабельным, спутниковым и т. д.).

Для формирования информационного цифрового потока и сокращения избыточности ТВ-сигнала используются стандарты MPEG-2 и MPEG-4 (MPEG – Moving Picture Expert Group) для «общего сжатия движущихся изображений и звука», что позволяет в радиоканале с шириной полосы частот 8 МГц передавать, в зависимости от требуемого качества приема, четыре–шесть обычных ТВ-программ либо одну программу телевидения высокой четкости.

Появилась, в частности, возможность распространения звуковых и телевизионных программ по сети Интернет.

Современные стандарты цифрового *телевидения высокой* *сти* предусматривают количество строк 720 (HD) и 1080 (Full HD), что обеспечивает высокое качество изображения. Использование для передачи цифрового сжатия потока видеоданных позволяет передавать такое изображение по относительно узкому каналу. Дальнейшим продолжением тенденции повышения чёткости является распространение *телевидения сверхвысокой чёткости* (Ultra HD/4K и 8K).

Проблемы совместимости, возникающие при использовании различных стандартов в настоящее время, решаются достаточно просто за счет разработки многосистемных телевизионных приемников (телевизоров), автоматически подстраивающихся под принимаемый стандарт изображения и звука.

Контрольные вопросы к теме 6

1. Принцип формирования сигнала в телевидении.
2. Принцип действия первой телевизионной системы с механической разверткой.
3. Явление фотоэффекта.
4. Принцип действия первого электронного телевизионного устройства Б. Л. Розинга.
5. Роль В. К. Зворыкина в развитии электронного телевидения.
6. Принцип действия иконоскопа и его современная замена в телевизионной системе.
7. Принцип действия кинескопа и его современная замена.
8. Трехкомпонентная модель цветовоспроизведения в цветном телевидении.
9. Три основных стандарта аналогового цветного ТВ-вещания.
10. Основные стандарты цифрового ТВ-вещания.

Список рекомендуемой литературы

1. Штыков, В. В. Введение в радиоэлектронику : учебник и практикум для вузов / В. В. Штыков. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2016. – 271 с.
2. Богомолов, С. И. Введение в специальность «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» : учеб. пособие. – Томск : Факультет дистанционного обучения ТУСУР, 2010. – 162 с.
3. Одинец, А. И. История отрасли : конспект лекций / А. И. Одинец, Л. И. Федорашко. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2008. – 47 с.
4. Борисов, В. П. Российско-американское изобретение электронного телевидения: к 120-летию со дня рождения В. К. Зворыкина / В. П. Борисов // ЭИС. Электросвязь: история и современность. – 2009. – № 1. – С. 29–33.
5. Варбанский, А. М. От механического телевидения к электронному / А. М. Варбанский // Электросвязь : ежемес. науч.-техн. журн. по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию. – 1981. – № 10. – С. 1–5.
6. Быховский, М. А. Личность, свобода и развитие телевидения / М. А. Быховский // ЭИС. Электросвязь: история и современность. – 2006. – № 2. – С. 8–15.
7. Борисов, В. П. Владимир Козьмич Зворыкин / В. П. Борисов. – М. : Наука, 2004. – 147 с.

Тема 7

ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНТЕРНЕТ

Середина XX в. ознаменовалась внедрением в производственные процессы, промышленные комплексы и системы вооружений сложных систем автоматического управления (САУ) на базе электронных управляющих вычислительных машин. Автоматическое управление – это совокупность действий, направленных на поддержание или улучшение функционирования управляемого объекта в соответствии с заданной целью без непосредственного участия человека.

В 1948 г. вышла книга Норберта Винера «Кибернетика, или управление и связь в животном мире и машине». Таким образом, возникла кибернетика как отдельная самостоятельная наука об общих законах получения, хранения, передачи и преобразования информации в сложных управляющих системах. Основные положения этой науки были позже использованы при создании первых электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

Следует отметить, что в настоящее время термин «электронная вычислительная машина» практически не используется, уступив место термину «компьютер».

7.1. ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОМПЬЮТЕРОВ

Слово *компьютер* является производным от английских слов *to compute, computer*, которые переводятся как «вычислять», «вычислитель».

Одним из первых авторов идеи о машине, которая может производить вычисления автоматически (т. е. без непосредственного участия человека благодаря заложенной программе), был английский математик и изобретатель *Чарльз Бэббидж*.

По замыслу Бэббиджа, его аналитическая машина имела следующие узлы:

- «Склад» для хранения чисел (по современной терминологии *память*);
- «Мельница» (по современной терминологии *арифметическое устройство*);
- Устройство, управляющее последовательностью операций в машине;
- Устройства ввода и вывода данных.

Идеи Бэббиджа, высказанные еще в середине XIX в., на десятилетия опередили появление пригодной для практической реализации вычислительных машин элементной базы. Реально работающие конструкции появились лишь в середине XX в., т. е. более чем через полвека.

Создание первой большой универсальной ЭВМ “ENIAC” (Electronic Numerical Integrator and Computer) было начато по заказу армии США в 1943 г. Первоначально она была задумана для расчета таблиц артиллерийских стрельб.

В 1946 г. машина была публично представлена под названием Giant Brain (дословно «Гигантский мозг»).

В ЭВМ использовалась десятичная система счисления. Вычислительная мощность – 300 операций умножения или 5000 операций сложения в секунду. Компьютер содержал более 17 тысяч вакуумных ламп шестнадцати типов, более 7 тысяч кристаллических диодов и более 4 тысяч магнитных элементов. Общая стоимость базовой машины немного не дотянула до одного миллиона долларов. Потребляемая мощность составляла около 150 кВт. Машина имела габариты 2,6×0,9×26 м, а её масса составляла 27 т.

Программирование ЭВМ производилось путем установки переключателей на специальной коммутационной панели (рис. 7.1). Это было весьма трудоемким занятием. Для изменения программы машины ENIAC требовалось несколько дней.

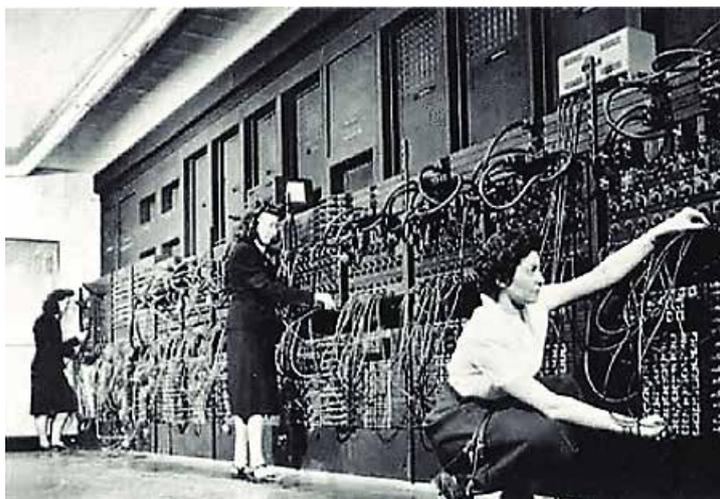


Рис. 7.1. Процесс программирования ЭВМ “ENIAC”

В 1944 г. к созданию первой ЭВМ подключился Дж. фон Нейман. Он высказал идею принципиально новой ЭВМ, теоретические основы которой были изложены Нейманом с соавторами в 1946 г. в журнале “Nature”

в статье «Предварительное рассмотрение логической конструкции электронного вычислительного устройства». Главная идея совпадала с идеей Бэббиджа: работа устройства на основе хранимой в памяти программы.

7.1.1. Архитектура ЭВМ Дж. фон Неймана

Принципиальное описание устройства и работы компьютера принято называть *архитектурой* электронно-вычислительной машины.

Архитектура ЭВМ Дж. фон Неймана предусматривает следующие функциональные блоки (рис. 7.2):

- арифметико-логическое устройство (АЛУ);
- устройство управления (УУ);
- различные виды памяти (запоминающих устройств (ЗУ), для хранения данных, программ и результатов вычислений);
- устройство ввода информации;
- устройство вывода информации.

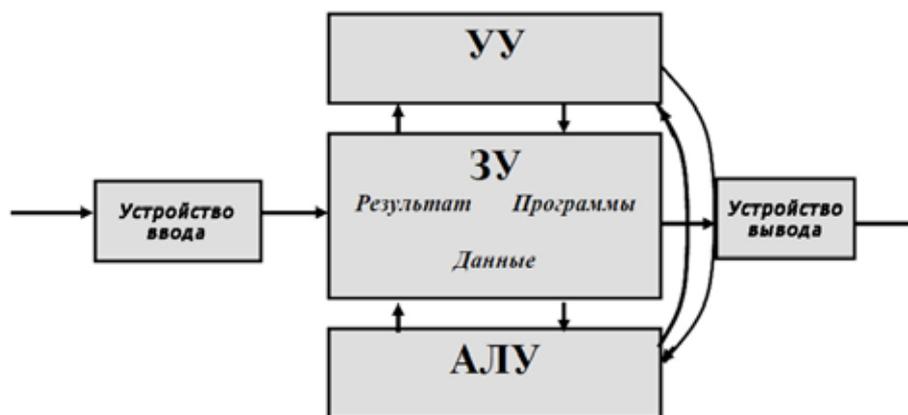


Рис. 7.2. Архитектура ЭВМ Дж. фон Неймана

Принципы фон Неймана были реализованы впервые в 1950 г. при создании ЭВМ EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer). В этой машине применялась двоичная арифметика и использовалась оперативная память, построенная на ультразвуковых ртутных линиях задержки. Память могла хранить 1024 слова. Каждое слово состояло из 44 двоичных разрядов. Операция сложения занимала около 1 мс, а умножения — 3 мс. Компьютер состоял почти из 6000 электровакуумных ламп и 12000 диодов и потреблял 56 кВт электрической мощности, занимал площадь 45,5 м², имел массу 7850 кг. В каждую 8-часовую рабочую смену ЭВМ обслуживало 30 человек.

Эту ЭВМ можно считать первым полнофункциональным цифровым компьютером в современном понимании этого термина.

7.1.2. История появления отечественных ЭВМ

Разработка первого в СССР проекта цифровой электронной вычислительной машины проводилась под руководством *И. С. Брука* и *Б. И. Рамеева* после окончания Второй мировой войны. Первое в СССР авторское свидетельство на изобретение цифровой ЭВМ *И. С. Бруком* и *Б. И. Рамеевым* получено в декабре 1948 г.

В 1946–1950 гг. под руководством академика *С. А. Лебедева* было осуществлено создание первой отечественной универсальной ЭВМ МЭСМ (Малая электронная счетная машина). Это была первая ЭВМ не только в СССР, но и в Европе. Машина МЭСМ занимала зал площадью около 60 м². Общее количество электронных ламп насчитывало около 3500 триодов и около 2500 диодов. Суммарная потребляемая электрическая мощность составляла около 25 кВт.

В 1953 г. *С. А. Лебедев* завершил разработку «быстродействующей электронной счетной машины» (БЭСМ), и на основе этого проекта был начат серийный выпуск ЭВМ БЭСМ-2.

В октябре 1955 г. в Дармштадте (ФРГ) на Международной конференции по ЭВМ доклад *С. А. Лебедева* произвел сенсацию, поскольку БЭСМ оказалась лучшей ЭВМ в Европе. Машинами БЭСМ-2 были оснащены практически все крупные вычислительные центры страны. На ней осуществлялись расчеты при запусках искусственных спутников Земли и первых космических кораблей с человеком на борту.

7.2. Поколения ЭВМ

Признаками, определяющими отнесение ЭВМ к тому или иному поколению, являются:

- элементная база, т. е. какие основные электронные компоненты используются в ЭВМ для реализации вычислительных функций;
- основные функциональные характеристики ЭВМ: быстродействие, объем оперативной памяти, программное обеспечение, устройства ввода-вывода.

7.2.1. Первое поколение ЭВМ (1946–1955)

- Элементная база – электронные лампы.
- Быстродействие – 10–20 тыс. операций в секунду.
- Программные средства – язык ассемблер.
- Ввод данных – с помощью перфокарт и перфолент.
- Вывод данных – АЦПУ (алфавитно-цифровые печатающие устройства).

Машины первого поколения на электронных вакуумных лампах были очень громоздкими (занимали целые залы), потребляли большое количество энергии и были очень ненадежны. В основном с их помощью решались научные задачи.

7.2.2. Второе поколение ЭВМ (1955–1965)

- Элементная база – полупроводниковые приборы (транзисторы, диоды).
- Быстродействие – до трех млн операций в секунду.
- Оперативная память до 512 Кб.
- Память на магнитных носителях (ферритах и магнитных дисках).
- Программные средства – языки программирования высокого уровня (Algol, Fortran, Cobol).

Использование в ЭВМ транзисторов привело к уменьшению габаритов и потребляемой мощности, повышению надежности и производительности ЭВМ. Языки программирования высокого уровня создали предпосылки для появления программного обеспечения, не зависящего от типа ЭВМ.

Первую ЭВМ второго поколения на транзисторах TRADIC разработала фирма Bell Telephone Laboratories в 1955 г. Она содержала порядка 800 транзисторов. Это позволило свести потребляемую мощность машины к 100 Вт, или одной двадцатой мощности аналога на электронно-вакуумных лампах.

В СССР первая ЭВМ второго поколения – мощная полупроводниковая ЭВМ БЭСМ-6 была разработана в 60-х годах под руководством С. А. Лебедева (рис. 7.3). Это для того времени была самая быстродействующая в мире супер-ЭВМ с производительностью 1 млн операций в секунду.



Рис. 7.3. ЭВМ БЭСМ-6

В 70-е годы ЭВМ БЭСМ-6 использовалась в Омском НИИ приборостроения.

За всю историю советской вычислительной техники БЭСМ-6 считается самой триумфальной. На момент своего создания в 1965 г. эта ЭВМ была передовой не столько по своим характеристикам, сколько по управляемости. Она имела развитую систему самодиагностики, несколько режимов работы, обширные возможности по управлению удалёнными устройствами (по телефонным и телеграфным каналам), возможность конвейерной обработки 14 процессорных команд. Имелась поддержка виртуальной памяти, кеша команд, чтения и записи данных.

В 1975 г. БЭСМ-6 обрабатывала траектории полёта космических аппаратов, участвовавших в проекте «Союз-Аполлон». Выпуск ЭВМ продолжался до 1987 г., а эксплуатация – до 1995 г.

Кроме БЭСМ-6 в СССР ЭВМ второго поколения были представлены такими машинами, как «Раздан», «Наири», «Мир», «Минск».

7.2.3. Третье поколение ЭВМ (1965–1980)

- Элементная база – интегральные схемы (ИС).
- Быстродействие – до 30 млн операций в секунду.
- Оперативная память – 16 Мбайт.
- Программирование – алгоритмические языки (ПЛ-1, Algol, Cobol и др.), операционные системы. Появляются возможности мультипрограммирования и управления ресурсами (периферийными устройствами), самой аппаратной частью ЭВМ или непосредственно операционной системой.

- Память – полупроводниковые запоминающие устройства (ЗУ).
- Устройства ввода-вывода – клавиатура, магнитные диски, дисплеи, графопостроители.

Отличительной особенностью развития программных средств третьего поколения являются появление ярко выраженного программного обеспечения и развитие его ядра – операционных систем, отвечающих за организацию и управление вычислительным процессом. Именно в этот период понятие «ЭВМ» все чаще стало заменяться терминами «компьютер» и «вычислительная система», что в большей степени отражало усложнение как аппаратной, так и программной части. Стоимость программного обеспечения стала расти, и в настоящее время она намного выше стоимости аппаратуры.

В связи с применением интегрированной электронной компонентной базы ЭВМ третьего поколения были сравнительно недорогими и малогабаритными, их называли *мини-ЭВМ*.

Они активно использовались для управления различными технологическими производственными процессами в системах сбора и обработки информации. В 1965 г. под руководством академика *В. М. Глушкова* была создана машина для инженерных расчетов «МИР-1», реализующая идеологию современных персональных компьютеров (рис. 7.4).

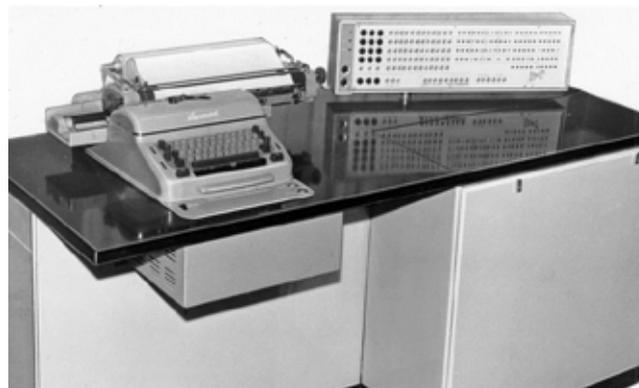


Рис. 7.4. ЭВМ «МИР-1»

В 1969 г. было начато производство новой более совершенной ЭВМ «МИР-2». На ЭВМ серии «МИР» впервые был реализован диалоговый режим работы, использующий дисплей со световым пером, прообразом современных сенсорных экранов. Затем была разработана следующая модель ЭВМ «МИР-3». По скорости выполнения аналитических преобразований у ЭВМ серии «МИР» не было конкурентов.

Габариты машины соответствовали размерам письменного стола (площадь около 2 м²), несмотря на применение транзисторов и объемный монтаж плат.

В 1967 г. на выставке в Лондоне, где демонстрировалась ЭВМ «МИР-1», она была куплена американской фирмой IBM. Это была первая (и единственная) покупка советской ЭВМ американской компанией.

В 1972 г. под руководством академика В. М. Глушкова была создана отечественная ЕС ЭВМ (Единая система вычислительных машин). Машины ЕС ЭВМ были совместимыми между собой на программно-аппаратном уровне.

Производительность «ЕС-1036» (рис. 7.5) при использовании полного комплекта процессоров (256 устройств) оценивалась в полмиллиарда операций в секунду. Машины «ЕС-2701» и «ЕС-1766» были переданы в серийное производство в 1984 и 1987 годах соответственно. К сожалению, машины, столь мощные, соперничающие с лучшими американскими ЭВМ, и столь нужные науке и технике, были выпущены лишь малой серией.



Рис. 7.5. ЭВМ «ЕС-1036»

Создание микросхем позволило перейти к разработке и производству малогабаритных управляющих вычислительных комплексов специального назначения, в том числе бортовых ЭВМ космических аппаратов.

7.2.4. Четвертое поколение ЭВМ (1980 г. – настоящее время)

- Элементная база – большие и сверхбольшие интегральные схемы (БИС и СБИС, включающие десятки и сотни тысяч транзисторов).
- Быстродействие – до сотен млн операций в секунду.

- Оперативная память – 16 Мбайт.
- Программирование – языки высокого уровня, базы и банки данных.

Объединение в компьютерные сети.

- Классификация ЭВМ четвертого поколения:
 - сверхбольшие;
 - большие;
 - мини-ЭВМ;
 - микроЭВМ.

Четвертое поколение ЭВМ повлекло дальнейшее существенное снижение размеров и стоимости ЭВМ. Работа с программным обеспечением стала более дружественной, что повлекло за собой рост количества пользователей. Появился класс машин – *персональный компьютер (ПК)*.

Первый персональный компьютер Apple создали в США в 1977 г. *Стив Джобс* и *Стив Возняк*, организовавшие одноименную компанию Apple в 1976 г.

Персональный (настольный) компьютер Apple II (рис. 7.6) выпускался и продавался серийно. Он функционировал на основе процессора MOS Technology 6502 с тактовой частотой в 1 МГц. Объем оперативной памяти составлял 4 Кб и мог быть расширен до 48 Кб. Объем ПЗУ составлял 4 Кб. В комплект входил монитор, а также интерфейс для использования кассетного магнитофона.



Рис. 7.6. ПК Apple-II

В СССР в г. Зеленограде персональный компьютер был создан через 5 лет – в 1982 г. под названием «ДВК-1» (диалоговый вычислительный комплекс).

Усовершенствованный отечественный ПК «ДВК-2», массовое производство которого началось в 1984 г., был вполне полноценной машиной (рис. 7.7). В 1991 г. развитие этого модельного ряда, как, впрочем, и всей отечественной электронной промышленности, прекратилось.



Рис. 7.7. ПК «ДВК-2»

В 1981 г. в США начался серийный выпуск компьютера IBM PC/AT (рис. 7.8), разработанного фирмой IBM. Конкуренция между фирмами Apple и IBM в последующие годы способствовала быстрому обновлению моделей ПК и улучшению их функциональных и потребительских характеристик, в том числе значительному снижению цены.



Рис. 7.8. ПК IBM PC/AT

Внедрение персональных компьютеров в повседневную практику стало самым удачным коммерческим проектом XX в.

26 ноября 1976 г. *Билл Гейтс* зарегистрировал торговую марку Microsoft. В 1980 г. компания Microsoft подписала контракт с IBM, по которому должна была разработать для IBM операционную систему MS-DOS.

Сотрудничество с IBM продолжалось, и 20 ноября 1985 г. появилась новая операционная система Microsoft Windows. Так началась эпоха Windows – операционной системы, прославившей и сделавшей Гейтса богатейшим человеком мира.

В мае 2015 г. стартовали продажи отечественных персональных компьютеров «АРМ Эльбрус-401» с российским четырехъядерным микропроцессором «Эльбрус-4С». «Эльбрус-401» предназначен для профессионального использования с целью оборудования рабочих мест, организации информационных терминалов и микросерверов на предприятиях и в организациях с повышенными требованиями к информационной безопасности.

Серверная модификация поддерживает до 384 Гб оперативной памяти, что делает его пригодным для организации веб-серверов, серверов баз данных, систем хранения данных, серверов удаленных рабочих столов и высокопроизводительных кластеров.

Основной заказчик компьютеров – органы государственного управления и предприятия оборонной промышленности, нуждающиеся в компьютерах и серверах повышенной безопасности.

Появление и распространение ПК по своему значению для общественного развития сопоставимо с появлением книгопечатания.

Именно появление ПК сделало компьютерную грамотность массовым явлением.

С развитием этого типа машин появилось понятие «информационные технологии», без которых уже становится невозможным обойтись в большинстве областей деятельности человека.

7.2.5. Пятое поколение ЭВМ

ЭВМ пятого поколения – это ЭВМ будущего. Если перед разработчиками ЭВМ с I по IV поколений стояли такие задачи, как увеличение производительности в области числовых расчётов, достижение большой ёмкости памяти, то основными задачами разработчиков ЭВМ V поколения являются создание искусственного интеллекта машины (возможность делать логические выводы из представленных фактов), развитие «интеллектуализации» компьютеров, т. е. устранение барьера между человеком и компьютером.

ЭВМ будущего – это электронные и оптоэлектронные компьютеры с массовым параллелизмом, нейронной структурой, с распределенной сетью большого числа (десятки тысяч) микропроцессоров, моделирующих архитектуру нейронных биологических систем.

Компьютеры уже сегодня способны воспринимать информацию с рукописного или печатного текста, с бланков, с человеческого голоса, узнавать пользователя по голосу, осуществлять перевод с одного языка на другой. Это позволяет общаться с ЭВМ всем пользователям, даже тем, кто не обладает специальными знаниями в этой области. ЭВМ является помощником человеку во всех областях.

Характерные черты компьютеров пятого поколения:

- элементная база: сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) с использованием оптоэлектронных принципов (лазеры, голография). Компьютеры на основе отдельных молекул и даже атомов. Квантовый компьютер. Нейросети, моделирующие структуру нервной системы человека;

- технологии: нанотехнологии, отказ от архитектуры фон Неймана, переход к новым архитектурам и, как следствие этому, превращение ЭВМ в многопроцессорную систему. В компьютерах пятого поколения произойдет качественный переход от обработки данных к обработке знаний, создание экспертных систем. Архитектура будет содержать интеллектуальный интерфейс, задача которого – понять текст, написанный на естественном языке и содержащий условие задачи, и перевести его в работающую программу для компьютера.

Главные направления развития ЭВМ пятого поколения связаны с квантовыми явлениями, оптоэлектроникой и фотоникой. Если требуется, к примеру, обсчитать миллиард вариантов в современном компьютере, то ему нужно «прокрутить» миллиард подобных циклов. На квантовом компьютере имеется принципиальное отличие: он может просчитывать все эти варианты одновременно.

Квантовый компьютер откроет перед человечеством необозримые возможности. Например, поможет создать искусственный разум, смоделировать Вселенную, молекулу, сверхпрочный металл, лекарства от неизлечимых болезней.

Нынешний этап развития информационно-коммуникационных технологий характеризуется чрезвычайно быстрым и почти одновременным развитием компьютерных сетей и мобильной связи. Причем современный

смартфон включает в себя, по сути дела, все функции персонального компьютера. Если в настоящее время преобладают настольные (стационарные) ПК, которые постепенно вытесняются ноутбуками и планшетными компьютерами, то вскоре всех их могут заменить компьютеры нового поколения на базе модернизированных смартфонов.

Существует точка зрения [2], что пятое поколение компьютеров ассоциируется не с конкретной архитектурой, а со сменой парадигмы. Компьютеры будущего будут встраиваться во все мыслимые и немыслимые устройства (бытовую технику, часы, банковские карточки и огромное количество других устройств) и за счет этого фактически станут невидимыми. Эта модель первоначально получила название *повсеместной компьютеризации*, но в настоящее время не менее распространен термин *всепроникающая компьютеризация*. Это явление изменит мир не менее радикально, чем промышленная революция.

7.3. МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ

Особое значение имеют специализированные компьютеры, которыми оснащаются разного рода бытовые и промышленные устройства. Такого рода встроенные компьютеры, называемые также *микроконтроллерами*, выполняют функцию управления устройствами и организации их пользовательских интерфейсов [2]. Диапазон устройств, работающих с помощью микрокомпьютеров, крайне широк:

- бытовые приборы (будильники, стиральные машины, микроволновые печи, охранные сигнализации и т. п.);
- коммутаторы (беспроводные и сотовые телефоны, факсимильные аппараты, смартфоны);
- периферийные устройства (принтеры, сканеры, модемы, приводы CD-ROM);
- развлекательные устройства (видеомагнитофоны, DVD-плееры, музыкальные центры, MP3-плееры, телеприставки);
- формирователи изображений (телевизоры, цифровые фотокамеры, видеокамеры, объективы, фотокопировальные устройства);
- медицинское оборудование (рентгеноскопические аппараты, томографы, кардиомониторы, цифровые термометры);

- военные комплексы вооружений (беспилотные летательные, наземные, подводные аппараты, межконтинентальные баллистические ракеты, торпеды);
- торговое оборудование (торговые автоматы, кассовые аппараты);
- игрушки (говорящие куклы, приставки для видеоигр, радиоуправляемые устройства);
- промышленное оборудование (станки, производственные линии и т. п.)

В любом современном автомобиле устанавливается несколько десятков микроконтроллеров, которые управляют различными подсистемами, в частности автоблокировкой колес, впрыском топлива, магнитолой, освещением и системой навигации. В реактивных самолетах количество микроконтроллеров достигает 200 и даже больше. Практически все приборы с источниками электропитания будут оснащаться микроконтроллерами. По объемам ежегодных продаж микроконтроллеры опережают компьютеры всех остальных типов на несколько порядков.

7.4. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СЕТИ ИНТЕРНЕТ

История глобальных сетей началась в конце 50-х годов. В самый разгар холодной войны Министерство обороны США поставило задачу создания сети, которая могла бы пережить даже ядерную войну. В то время все военные телекоммуникации базировались на телефонной сети общего пользования, которая была сочтена слишком уязвимой из-за наличия в ее составе узлового коммутатора, вывод из строя которого приводил к разрушению всей системы связи.

Было принято решение о поиске новых методов, позволяющих создать компьютерную сеть с децентрализованной структурой, в которой был бы устранен главный недостаток централизованной структуры (рис. 7.9, а) – уязвимость единственного (центрального) узла. Но и при децентрализованной структуре (рис. 7.9, б) проблема уязвимости сохранялась, хотя и в меньшей степени.

Альтернативу централизованной и децентрализованной архитектурам в виде *распределенной сети* предложил сотрудник корпорации RAND *Павль Бэрен*.

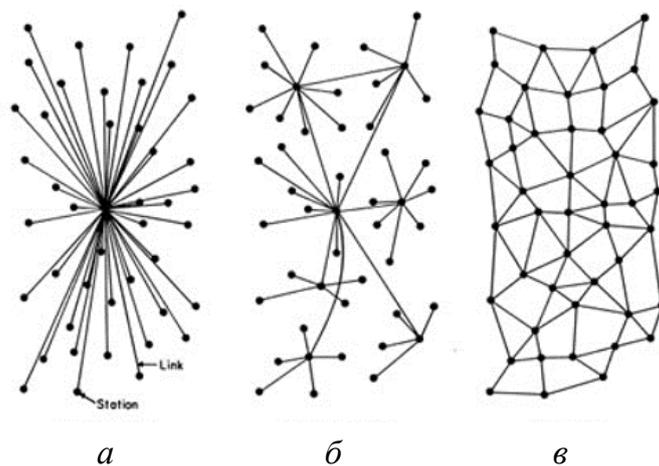


Рис. 7.9. Принципы организации централизованной (а), децентрализованной (б) и распределенной (в) сетей

В 1961 г. он опубликовал первые статьи на тему создания сетей с распределенной архитектурой. П. Барен обратил внимание на то, что при поражении отдельных участков человеческого мозга нервные импульсы передаются по обходным маршрутам.

В предложенной им распределенной архитектуре сети (рис. 7.9, в) вообще отсутствуют центральные концентраторы – каждый узел соединяется с несколькими соседними узлами (lattice-like configuration). Таким образом, каждый узел имеет несколько маршрутов для передачи данных, что позволяет сохранить работоспособность сети в случае разрушения большей части ее элементов.

За активную научную деятельность и огромный вклад в развитие глобальной информационной инфраструктуры П. Бэрэн был отмечен многими почетными наградами, включая медаль им. Александра Белла и награду Международного общества Маркони – MIF (Marconi International Fellowship).

Первая передача данных по сети ARPANET между двумя компьютерами произошла 29 октября 1969 г. Сеть состояла из двух терминалов, первый из которых находился в Калифорнийском университете, а второй на расстоянии 600 км от него – в Стэнфордском университете. Тестовое задание заключалось в том, что первый оператор вводил слово LOG, а второй должен был подтвердить, что он видит его у себя на экране. Так возникла предпосылка для зарождения Интернета.

Именно эту дату – 29 октября 1969 г., хотя тогда еще не появилось слово «Интернет», считают его днем рождения.

Помимо помощи развивающейся сети ARPANET, агентство ARPA (Advanced Research Projects Agency – Управление перспективного планирования научно-исследовательских работ) также финансировало исследовательские работы по спутниковым сетям и разработку мобильных пакетных радиосетей.

К середине 1970 г. в сеть ARPANET вошли Массачусетский технологический институт, Гарвардский университет и ряд корпораций, расположенных на востоке страны, а в 1971 г. в ней работали уже 15 учреждений.

В 1973 г. к сети подсоединились Университетский колледж в Лондоне и государственные службы в Норвегии, изобретен E-mail (электронная почта).

Система ARPANET обеспечила надежную связь при обмене компьютерной информацией.

В 1980 г. в Европейском центре ядерных исследований (CERN – Conseil European pour la Recherche Nucleaire) начал работать физик и программист 25-летний англичанин *Тим Бернерс-Ли*, который увлекся вопросами цифровой обработки результатов проводимых исследований и представления научной информации в режиме реального времени.

13 марта 1989 г. Тим Бернерс-Ли и другие сотрудники CERN представили доклад «Информационный менеджмент: некоторые приложения», содержащий программную концепцию свободного международного пользования общедоступными документами.

Бернерс-Ли и его команда создали первый в мире браузер – World-Wide-Web (www), первый веб-сервер и язык разметки гипертекста HTML. Проект World-Wide-Web был реализован в 1991 г.

В 1995 г. был образован Консорциум Всемирной паутины (англ. *World Wide Web Consortium, W3C*) – организация, разрабатывающая и внедряющая технологические стандарты для Интернета. Его бессменным руководителем стал Тим Бернерс-Ли. С этого времени Всемирная паутина реконструировала Интернет, приспособила его к современным реалиям, взяла на себя обязанности основного маршрутизатора.

Хотя в проектировании Интернета приняли участие тысячи специалистов, имена которых в большинстве находятся в неизвестности, Тима Бернерса-Ли принято считать одним из основных изобретателей Всемирной паутины – сети Интернет.

Современные вычислительные системы и информационные технологии находят и будут находить все более широкое применение во всех областях человеческой деятельности – в науке и технике, в образовании и культуре, в производстве, на транспорте и в сфере обслуживания. Они формируют стиль жизни современного человека, его культуру, восприятие мира и образ действий.

Контрольные вопросы к теме 7

1. Электронная элементная база ЭВМ первого, второго, третьего и четвертого поколений.
2. Основные логические принципы и структура ЭВМ.
3. Основные блоки архитектуры ЭВМ фон Неймана.
4. Основные критерии поколений ЭВМ.
5. Основные признаки ЭВМ первого поколения.
6. Основные признаки ЭВМ второго поколения.
7. Основные признаки ЭВМ третьего поколения.
8. Основные признаки ЭВМ четвертого поколения.
9. Особенности ЭВМ пятого поколения.
10. Области применения микроконтроллеров.
11. Отличие структуры Интернета от структуры телефонной сети.
12. Вклад Бернерса-Ли и его команды в развитие Интернета.

Список рекомендуемой литературы

1. Штыков, В. В. Введение в радиоэлектронику : учебник и практикум для вузов / В. В. Штыков. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2016. – 271 с.
2. Таненбаум, Э. Архитектура компьютера / Э. Таненбаум, Т. Остин. – 6-е изд. – СПб. : Питер, 2013. – 960 с.
3. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 3-е изд. – СПб. : Питер, 2007. – 957 с.
4. Пятибратов, А. П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации : учеб. пособие / А. П. Пятибратов, Л. П. Гудыно, А. А. Кириченко ; под ред. А. П. Пятибратова. – М. : КНОРУС, 2017. – 376 с.

Тема 8

ЭЛЕКТРОНИКА

Электроника – это область техники, в которой взаимодействия электронов с электромагнитными полями используются для преобразования электромагнитной энергии, создания электронных приборов, а также устройств передачи, обработки и хранения информации.

Электроника исследует эти взаимодействия как в *макрообъемах* – рабочем пространстве электронных приборов, так и в *микрообъемах* – атомах, молекулах или кристаллической решетке.

Область, посвященная применению электронных приборов в промышленности, – *промышленная электроника*.

Электроника и радиотехника тесно связаны, поэтому совместную область техники называют *радиоэлектроника*.

Электронные приборы служат основными элементами радиотехнических устройств и определяют важнейшие показатели радиоаппаратуры.

С другой стороны, многие проблемы в радиотехнике привели к изобретению новых и совершенствованию действующих электронных приборов.

8.1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

Развитие электроники можно условно разделить на пять этапов. Ниже мы перечислим эти этапы, обозначив наименование каждого этапа классом электронных компонентов, которые были созданы в начале этапа. Это вовсе не означает, что история развития данных компонентов завершилась к началу следующего этапа. Особенность этапов развития электроники состоит в том, что все классы компонентов, начав свое существование в соответствующее начало этапа время, продолжают свое технологическое развитие и в настоящее время.

8.1.1. Первый этап электроники: пассивные компоненты

Первый этап начался в конце XIX в. с изобретением радио.

День радио (7 мая 1895 г.) можно считать также и днем рождения электроники. На первом этапе еще не было ни электронных ламп, ни транзисторов. Электронные компоненты, которые начали применяться в это время, были *пассивными*: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности,

трансформаторы, а также первые кристаллические диоды. Термин «пассивный» в данном случае означает, что электронный компонент не требует для своего функционирования наличия внешнего источника электропитания.

Однако некоторым элементам радиотехнических устройств того времени электрическое питание было необходимо. В их числе такие электротехнические исполнительные устройства, как электромагнитное реле, электрический звонок, телеграфный аппарат. Когерер, служивший для обнаружения электромагнитного излучения, также требовал питания, чтобы выработать ток для включения исполнительного реле.

В настоящее время, несмотря на широкое применение активных электронных компонентов – транзисторов и микросхем, пассивные элементы по-прежнему широко используются. Рассмотрим свойства некоторых из них.

Резистор – пассивный элемент электрических цепей, обладающий постоянным или переменным значением электрического сопротивления и предназначенный для линейного преобразования тока в напряжение и напряжения в ток, поглощения электрической энергии.

Основные характеристики и параметры резисторов:

- номинальное сопротивление R ;
- предельная рассеиваемая мощность $P_{\text{расс}}$;
- температурный коэффициент сопротивления (ТКС);
- допустимое отклонение сопротивления от номинального значения (технологический разброс в процессе изготовления) ΔR .

От величины сопротивления резистора R в соответствии с законом Ома зависит величина тока I при воздействии напряжения U : $I = U/R$.

В свою очередь, $U = I \cdot R$ и $R = U/I$.

Мощность, выделяемая на резисторе: $P = U \cdot I = U^2 \cdot R = I^2 \cdot R$.

При отсутствии резистора необходимого номинала R его можно заменить, соединив имеющиеся резисторы R_1 и R_2 последовательно либо параллельно (рис. 8.1).

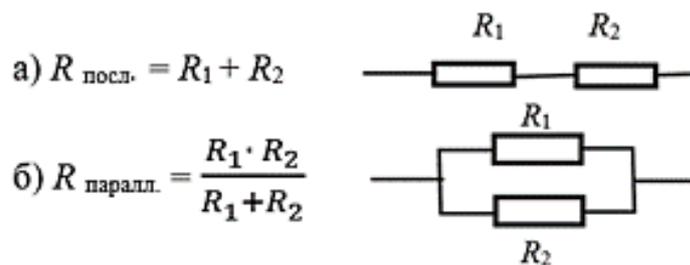


Рис. 8.1. Соединения резисторов:

а – последовательное; б – параллельное

По возможности регулировки сопротивления резисторы подразделяют на *постоянные, построечные и переменные*. У постоянных резисторов сопротивление неизменно. У подстроечных резисторов сопротивление можно некоторое число раз изменить, после чего наступит физический износ деталей. Подстройка производится обычно в процессе изготовления изделия, в которое входит резистор. У переменных резисторов сопротивление регулируют большее число раз. Это происходит в процессе текущей эксплуатации изделия.

Промышленность выпускает резисторы сопротивлением примерно от 0,1 Ом до 100 МОм, мощностью от 0,125 до 100 Вт и более.

Сопротивление *специальных резисторов* изменяется под действием внешних факторов: протекающего тока или приложенного напряжения (*варисторы*), температуры (*терморезисторы*), освещения (*фоторезисторы*) и т. д.

Конденсатор – устройство для накопления заряда и энергии электрического поля.

Основные характеристики и параметры конденсаторов:

- ёмкость (единица измерения – фарада (Ф)) – способность конденсатора накапливать электрический заряд $q = C \cdot U$. Типичные значения ёмкости конденсаторов составляют от единиц пикофарад до тысяч микрофарад;
- номинальное напряжение – значение напряжения, при котором конденсатор может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах. При эксплуатации напряжение на конденсаторе не должно превышать номинального;
- полярность. Многие конденсаторы с оксидным диэлектриком (электролитические) функционируют только при определенной полярности напряжения из-за химических особенностей взаимодействия электролита с диэлектриком.

Обозначения конденсаторов на схеме для конденсаторов различных видов представлены на рис. 8.2.

При отсутствии конденсатора необходимого номинала C его можно заменить, соединив имеющиеся конденсаторы C_1 и C_2 последовательно (рис. 8.3, *а*) либо параллельно (рис. 8.3, *б*).

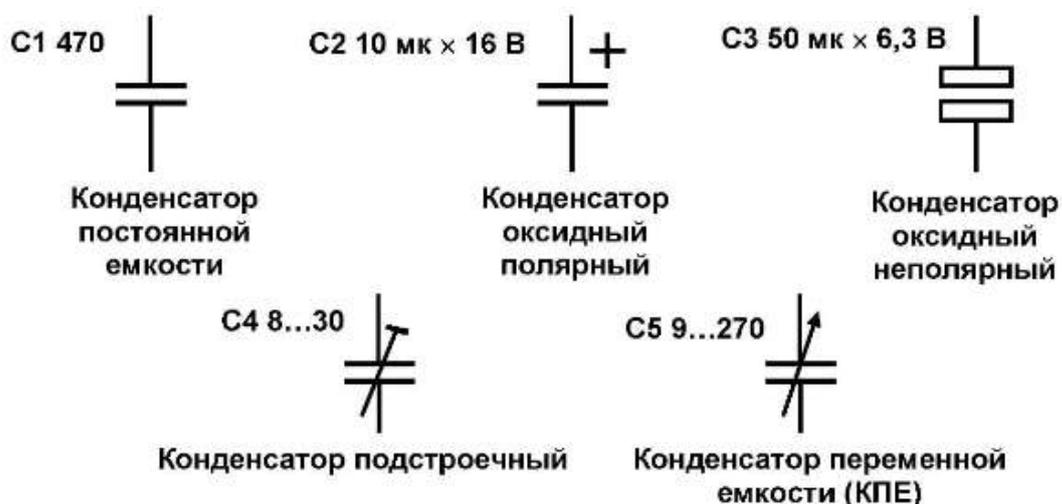


Рис. 8.2. Обозначения конденсаторов на электрической схеме

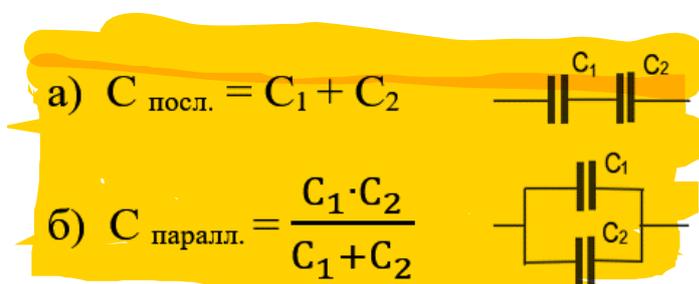


Рис. 8.3. Соединения конденсаторов:
 а – последовательное; б – параллельное

Таким образом, правило расчета последовательного и параллельного соединений для конденсаторов противоположно правилу расчета для резисторов.

Конденсатор после заряда до величины приложенного напряжения не пропускает постоянный ток. Сопротивление конденсатора X_C переменному току уменьшается обратно пропорционально частоте тока f и величине емкости конденсатора C :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Катушки индуктивности – это компоненты, предназначенные для накопления энергии в магнитном поле и состоящие из проводов, уложенных в обмотки, которые могут содержать, а могут не содержать магнитопроводы. Магнитопроводы из ферромагнетиков задействуют для увеличения индуктивности катушек, а из диамагнетиков – для ее уменьшения. Обмотки катушек индуктивности выполняют проводами круглого или прямоугольного сечения (рис. 8.4).

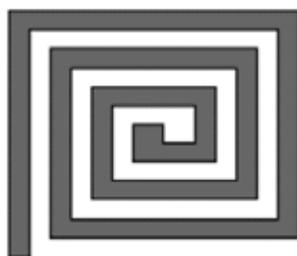


Рис. 8.4. Плоская пленочная прямоугольная катушка индуктивности

Индуктивность (единица измерения – генри (Гн)) – коэффициент пропорциональности между электрическим током, текущим в замкнутом контуре, и магнитным потоком, создаваемым этим током:

$$\Phi = LI,$$

где Φ – магнитный поток; L – индуктивность; I – ток в контуре.

Сопротивление индуктивности переменному току: $X_L = 2\pi fL$.

Параллельное или последовательное соединение индуктивности и конденсатора образует колебательный контур (рис. 8.5).

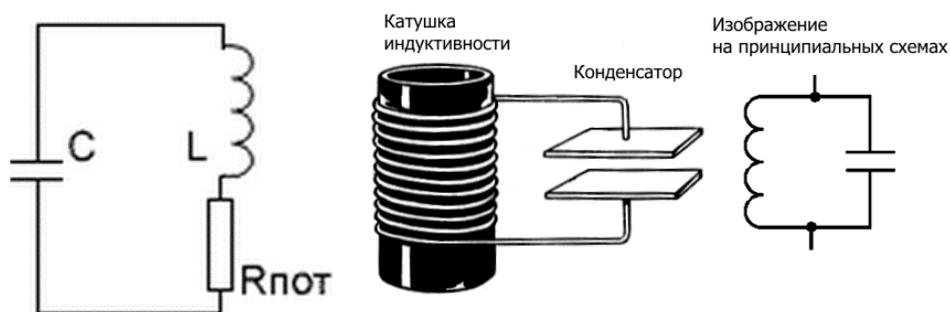


Рис. 8.5. Параллельный колебательный контур

Частота, на которой достигается равенство $X_C = X_L$, называется резонансной частотой колебательного контура. На резонансной частоте сопротивление параллельного колебательного контура в Q раз больше, чем сопротивление X , где $Q = X / R_{\text{пот}}$ – добротность колебательного контура. Здесь $R_{\text{пот}}$ – активное сопротивление потерь в цепи контура. Обычно это сопротивление провода катушки индуктивности постоянному току.

Добротность может достигать десятков и сотен единиц, поэтому сопротивление контура на частоте резонанса может быть в десятки и сотни раз больше сопротивления конденсатора или индуктивности. На этом основано использование колебательного контура для выделения сигнала из помех. В последовательном контуре, наоборот, сопротивление на резо-

нансной частоте в Q раз меньше сопротивления конденсатора или индуктивности. Это также может использовать для целей селекции сигналов:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\omega_0 L}{R}.$$

Значение резонансной частоты определяется по формуле Томпсона:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Две или более связанных между собой магнитным полем индуктивности образуют *трансформатор* (рис. 8.6).

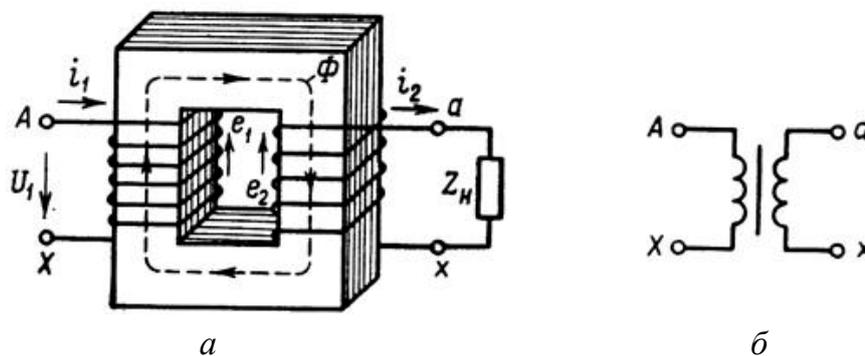


Рис. 8.6. Трансформатор:

a – вариант конструкции; *б* – изображение на схеме

Различают сигнальные трансформаторы и трансформаторы питания. Сигнальные трансформаторы предназначены для передачи сигналов с минимальными искажениями. Обычно сигнальные трансформаторы применяют для гальванической развязки цепей. Трансформаторы питания нужны для электропитания аппаратуры, которая по каким-либо причинам не может быть подключена непосредственно к сети, например из-за несоответствия величин напряжений.

8.1.2. Второй этап развития электроники: электронные лампы

«Эра электронных ламп» наступила в начале XX в. после изобретения в 1904 г. английским ученым Дж. Э. Флемингом вакуумного диода, который был им применен для детектирования электромагнитных колебаний в радиотелеграфных приемниках.

На рис. 8.7 приведена схема измерения вольт-амперных характеристик диода – зависимостей тока через диод от величины напряжения на его электродах. Если на анод диода *A* подать положительное напряжение, то

сила тока I_a зависит от тока в нити накаливания I_n , который определяет температуру T катода, и напряжения на аноде U_a .

Причиной этого тока является испускание электронов раскаленной нитью лампочки (явление термоэлектронной эмиссии). Каждому из значений температуры нити накаливания T_i соответствует свое значение тока насыщения I_{ni} , которое тем больше, чем сильнее разогрет катод K .

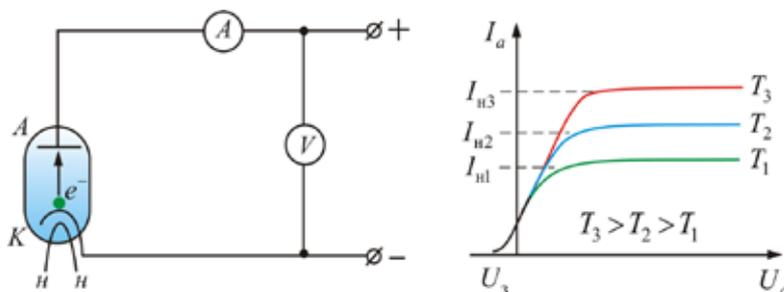


Рис. 8.7. Вольт-амперные характеристики вакуумного диода

В настоящее время вакуумные диоды практически не применяются. Их вытеснили полупроводниковые диоды, не требующие питания нити накала и поэтому являющиеся *пассивными* элементами электронных схем.

Некоторые основные параметры полупроводниковых диодов:

- максимально допустимый прямой ток, А;
- максимально допустимое обратное напряжение, В;
- статическое сопротивление диода в прямом включении, Ом;
- статическое сопротивление диода в обратном включении, МОм;
- динамическое сопротивление диода в прямом включении, Ом;
- динамическое сопротивление диода в обратном включении, Ом;
- емкость запертого диода, пФ;
- максимально допустимая частота переменного тока, Гц.

Схема простейшего однополупериодного диодного выпрямителя и диаграммы его функционирования приведены на рис. 8.8.

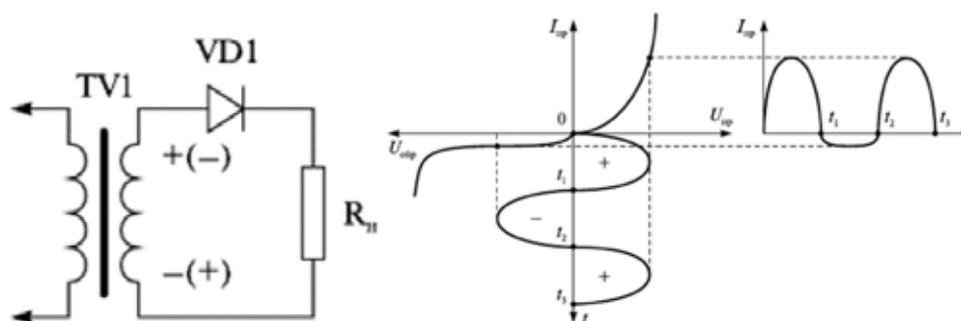


Рис. 8.8. Однополупериодный выпрямитель на полупроводниковом диоде и диаграммы его функционирования

В 1906 г. американский инженер *Ли де Форест* изобрел трехэлектродную вакуумную лампу – триод («*аудион Фореста*»), который был первым *активным* элементом, позволяющим преобразовывать и усиливать электрические сигналы (рис. 8.9).

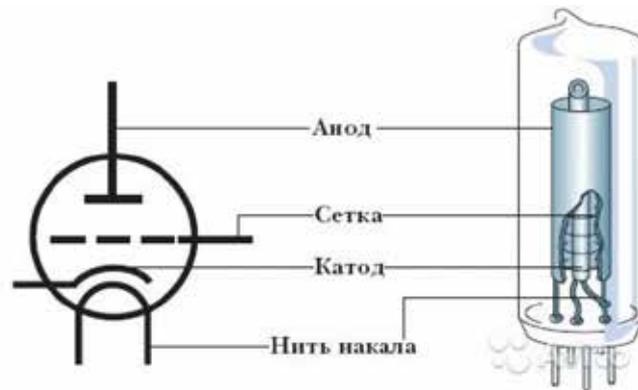


Рис. 8.9. Изображение вакуумного триода на электрической схеме и его конструкция

В триоде величина анодного тока управляется напряжением сигнала, подаваемого на сетчатый электрод, расположенный вблизи от катода (рис. 8.10). Выходная мощность триода значительно больше входной мощности управляющего сигнала. Таким образом достигается эффект усиления.

Вольт-амперные характеристики вакуумного триода похожи на вышеприведенные характеристики диода, только параметром, влияющим на величину анодного тока, является не температура катода, а напряжение на сетке, которое, в отличие от температуры катода, может меняться практически безынерционно, что позволяет обрабатывать сигналы с весьма высокой, до сотен мегагерц, частотой. При этом температура катода поддерживается постоянной.

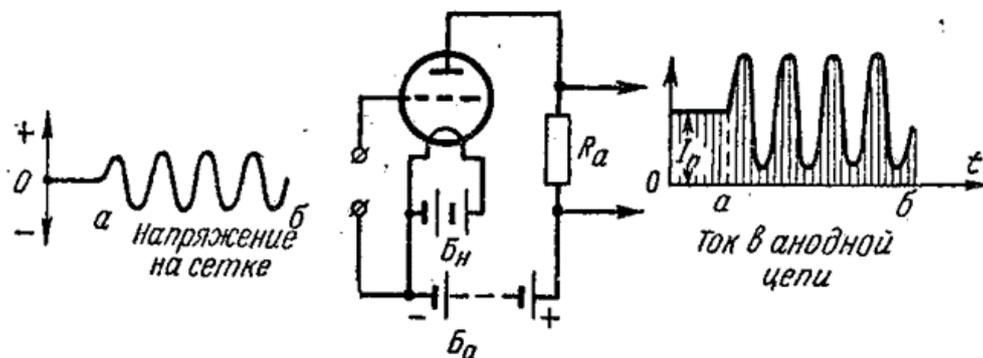


Рис. 8.10. Схема усилителя на вакуумном триоде

Однако при решении задачи создания высокочувствительных радиоприемных устройств первые электронные лампы – триоды – имели слабый

коэффициент усиления. Необходимы были дополнительные изыскания, чтобы создать эффективный усилитель.

В 1912 г. американский радиотехник Э. Х. Армстронг предложил регенеративный усилитель на триоде, в котором за счет положительной обратной связи достигалось значительное увеличение усиления (рис. 8.11). Регенеративная схема Армстронга была быстро внедрена в производство. В 1915 г. между Нью-Йорком и Сан-Франциско была установлена трансконтинентальная телефонная связь с применением регенеративных ретрансляторов.

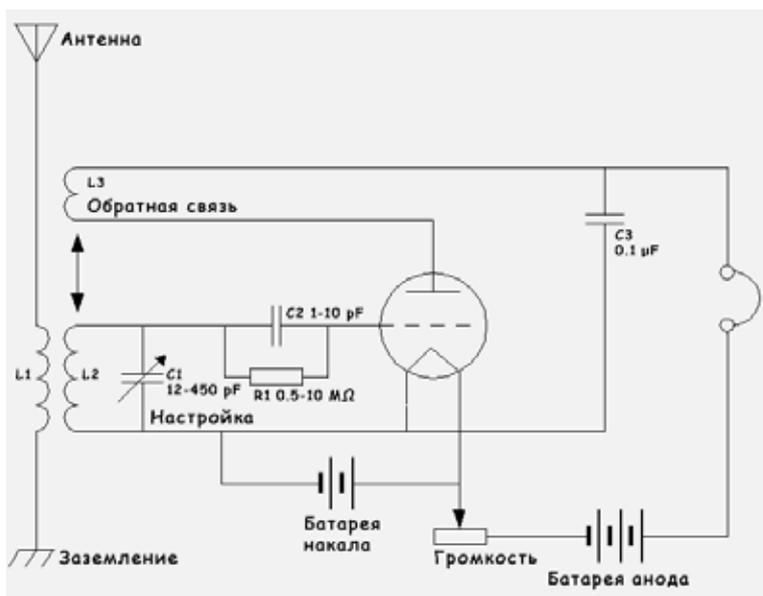


Рис. 8.11. Схема регенеративного усилителя Армстронга

Впоследствии проблема увеличения усиления была решена путем создания многоэлектродных ламп – тетродов и пентодов (рис. 8.12).

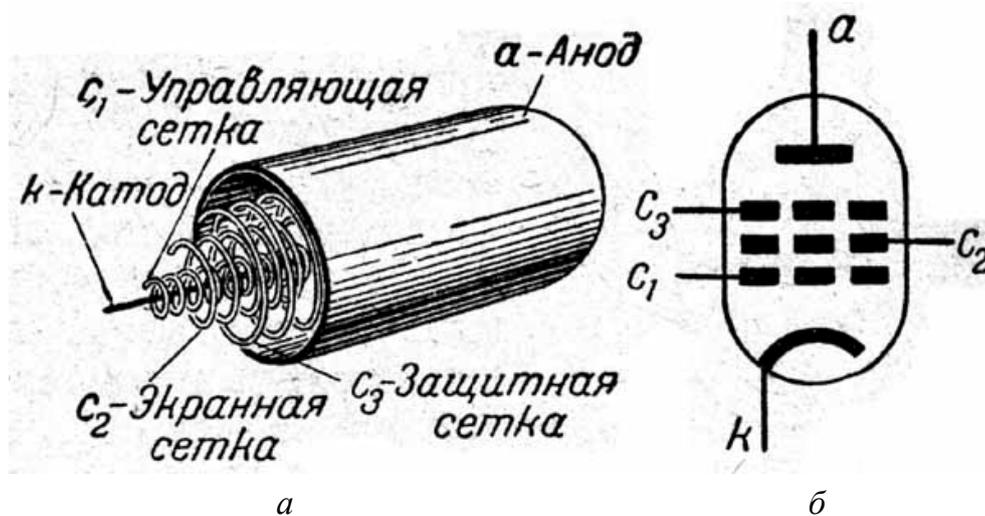


Рис. 8.12. Пентод:
а – конструкция; б – изображение на схеме

В 1918–1925 гг. в первом советском радиотехническом научно-исследовательском центре «Нижегородская лаборатория» плодотворно работал *Михаил Александрович Бонч-Бруевич*, который в 1919 г. опубликовал основы теории и расчета радиоламп. В 1921 г. совместно с сотрудниками им были разработаны мощные генераторные лампы для радиопередатчиков, используемых в системах дальней радиосвязи и радиовещания. Впервые в мире он применил платиновые и красномедные аноды с водяным охлаждением и освоил выпуск генераторных ламп мощностью до 100 кВт.

С этого времени электронные лампы становятся основной элементной базой. На них создаются генераторы, передатчики, усилители, выпрямители, радиоприемники и, наконец, в середине 40-х годов – первые ЭВМ.

Функциональное усложнение электронных устройств привело к применению большого количества элементов (ламп, резисторов, конденсаторов и др.), резко увеличило их массу и габариты и снизило надежность. Например, вычислительные машины типа БЭСМ содержали по 5–6 тысяч ламп, а время безотказной работы ЭВМ было 5–10 ч.

В разработке приемно-усилительных и генераторных ламп значительная роль принадлежит русскому физiku *Николаю Дмитриевичу Папалекси* (1880–1947). В 1911 г. он заложил основы теории преобразовательных схем в электронике. В 1914–1916 гг. Н. Д. Папалекси руководил разработкой первых образцов отечественных радиоламп. В 1916 г. при активном участии *М. А. Бонч-Бруевича* в России было налажено собственное производство электронных ламп.

В СССР академик Н.Д. Папалекси разрабатывал ламповые приемники для оборонных целей. Работал над усовершенствованием радиотелефонной связи. Внес большой вклад в теорию нелинейных колебаний, создал параметрические генераторы.

Папалекси руководил разработкой телемеханической аппаратуры и организовал опыты по управлению самолетами и подводными лодками на расстоянии. Одновременно с этим он занимался и теорией радиотехники. Из-под его пера в тот период вышла большая научная работа, посвященная теории генерации колебаний с помощью радиоламп.

В 1925 г. Центральная радиолaborатория под руководством Мандельштама и Папалекси разработала схему приемника с кварцевым фильтром, которая впоследствии стала основой всех приемников этого типа.

Электронные лампы используются и в настоящее время. Прежде всего их область применения – мощные усилители радиопередающих устройств. Некоторые любители качественного звуковоспроизведения предпочитают звучание ламповых усилителей усилителям на транзисторах. Существует также новое направление, как вакуумные интегральные схемы, где активными элементами являются электронно-вакуумные лампы с размерами, близкими к размерам полупроводниковых транзисторов. Из-за более высокой скорости электронов (10^6 – 10^7 м/с) они обладают лучшими частотными свойствами, чем кремниевые транзисторы, характеризуются более высокой радиационной стойкостью, что для условий открытого космоса и применения в радиационных объектах является весьма важным преимуществом.

8.1.3. Третий этап развития электроники: транзисторы

Третий этап начался в 1948 г. с изобретением американскими учеными *В. Шокли, Д. Бардином* и *У. Браттейном транзистора* – полупроводникового прибора, предназначенного для усиления, генерирования и преобразования электрических колебаний различных частот и ставшего основой радиоэлектронной аппаратуры.

Транзистор в большей степени, чем какой-либо другой электронный прибор, обязан своим происхождением научной теории, а не технологическим разработкам.

Биполярный транзистор (рис. 8.13), так же как и вакуумный триод, имеет три электрода. Аналогом катода (не требующим подогрева) является *эмиттер*, сетке и аноду соответствуют *база* и *коллектор*. Ток коллектора I_K , в отличие от тока анода вакуумного триода, управляется не напряжением на сетке, а током базы I_6 , протекающим через полупроводниковый переход база-эмиттер. Ток коллектора при этом в $\beta \gg 1$ раз больше тока базы, что и позволяет достичь больших коэффициентов усиления по току. Ток эмиттера $I_3 = I_6 + I_K$.

Благодаря малым размерам транзисторов, их небольшому весу и малой величине потребляемой мощности они сразу нашли применение в военной аппаратуре. Другой областью, в которой сразу стали применяться транзисторы, были слуховые аппараты. Затем транзисторы практически полностью вытеснили электронные лампы из большинства радиоэлектронных устройств.

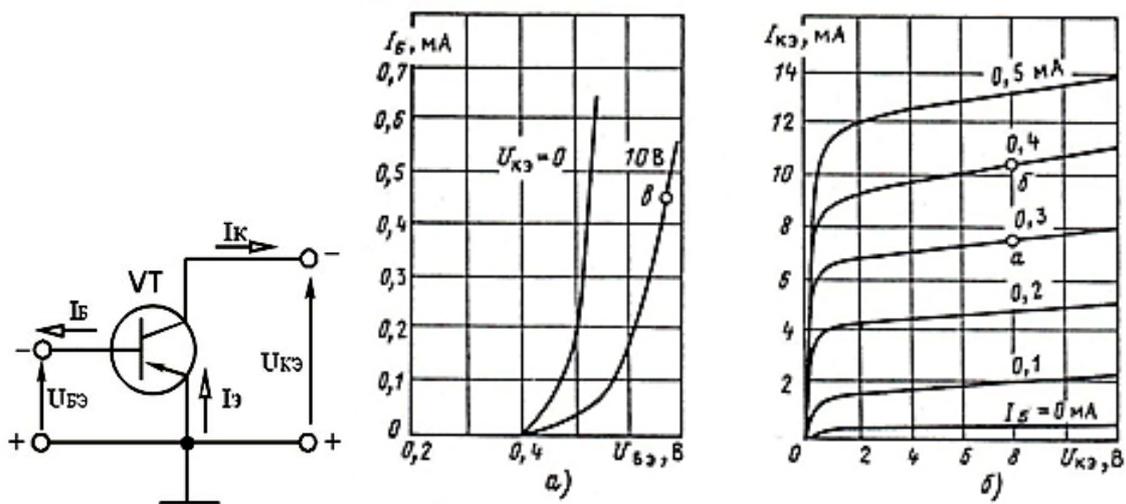


Рис. 8.13. Биполярный транзистор и его вольт-амперные характеристики

Наибольший эффект от использования транзисторов был получен при создании вычислительной техники, для которой были необходимы громадные количества миниатюрных маломощных переключателей.

В 1956 г. В. Шокли, Д. Бардину и У. Браттейну за исследование полупроводников и открытие транзисторного эффекта была присуждена Нобелевская премия по физике.

В 60-е гг. XX в. столетия были изобретены и освоены в производстве *полевые* транзисторы, которые по аналогии с вакуумными триодами и в отличие от биполярных транзисторов имели очень высокое входное сопротивление и управлялись напряжением.

Управляющий электрод полевого транзистора называется затвором. Канал может быть образован полупроводником с любым типом проводимости. В зависимости от этого полярность управляющего напряжения может быть положительной или отрицательной. Поле соответствующего знака вытесняет свободные носители до тех пор, пока перешеек под электродом затвора не опустеет вовсе. Это достигается за счёт воздействия поля либо на р-п-переход, либо на однородный полупроводник. Ток становится равным нулю. Так работает полевой транзистор. На полевых транзисторах, в отличие от биполярных, можно строить логические схемы со сверхмалым потреблением тока, вследствие чего они являются основными «кирпичиками» современных сверхбольших интегральных схем, содержащих сотни тысяч и даже миллионы элементов в составе одного микропроцессора.

Изображения на принципиальных электрических схемах вариантов полевых транзисторов, выполненных по различным технологиям, и их типовые вольт-амперные характеристики приведены на рис. 8.14.

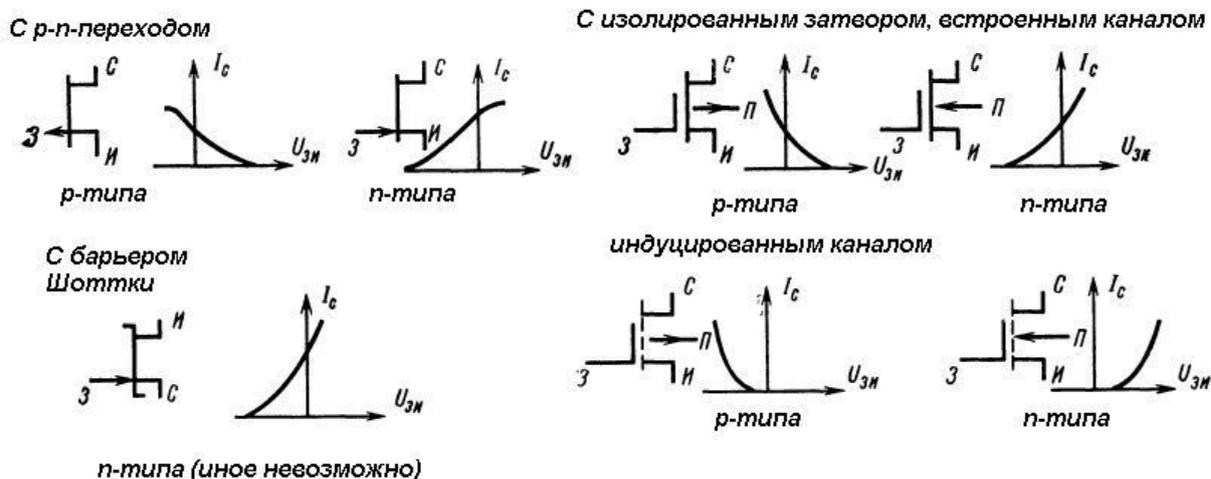


Рис. 8.14. Варианты полевых транзисторов и их вольт-амперные характеристики

Один из вариантов топологического исполнения полевого транзистора приведен на рис. 8.15.

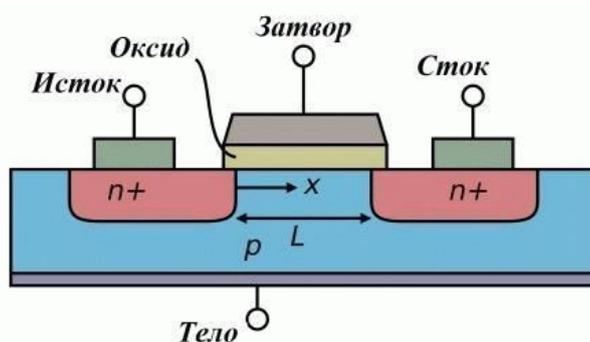


Рис. 8.15. Топология полевого транзистора

Возникновению и развитию полупроводниковой электроники во многом способствовали работы русских и советских ученых. Еще в 1874 г. А.С. Поповым были обнаружены выпрямительные (нелинейные) свойства контактов между металлами и их сернистыми соединениями, обладающими полупроводниковыми свойствами.

В 1922 г. (за 25 лет до официального изобретения транзистора) и за 35 лет до создания туннельного диода физик *Олег Владимирович Лосев* в детекторе из цинкита обнаружил активные свойства, т. е. способность кристаллов в определенных условиях усиливать и генерировать электрические колебания. Построенный Лосевым в 1922 г. радиоприёмник с генерирую-

шим диодом – «кристадином» (рис. 8.16) – принёс молодому русскому учёному и изобретателю всемирную известность. Зарубежные научные журналы называли кристадин Лосева «сенсационным изобретением», а самого девятнадцатилетнего учёного – «профессором». К сожалению, ученый не получил своевременно объективной оценки своих заслуг со стороны соотечественников.

О. В. Лосев умер в 1942 г. во время блокады Ленинграда.

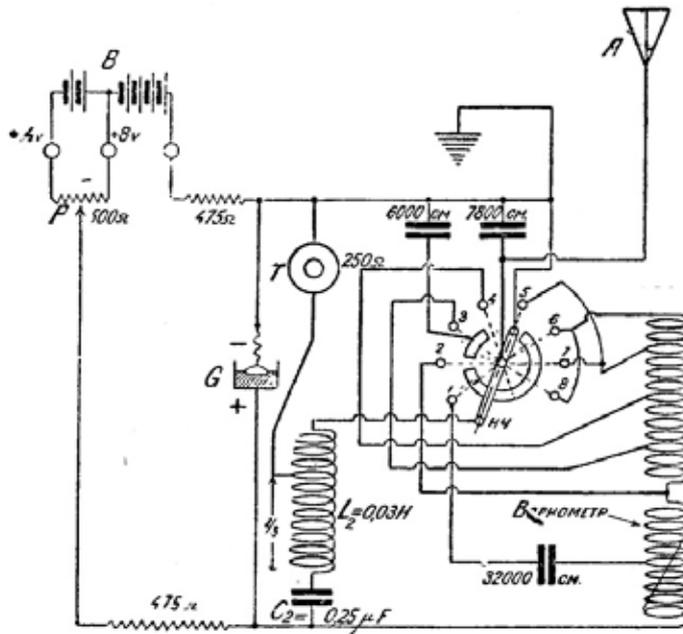


Рис. 8.16. Схема кристадина Лосева

Систематическое изучение свойств полупроводников началось в нашей стране еще в 30-е годы XX в. Под руководством академика А. Ф. Иоффе с 1928 г. в Ленинградском физико-техническом институте группой советских ученых исследовались полупроводники и были разработаны на их основе термо- и фотоэлектрические приборы.

Разработка и развитие в 1954–1959 гг. *диффузионной технологии, оксидного маскирования и фотолитографии* позволили в значительной степени усовершенствовать транзисторы, улучшить их параметры. Наряду со снижением стоимости в первые годы производства транзисторов их надежность в среднем повышалась в 10 раз каждые четыре года и за 20 лет выросла в 100 тыс. раз.

ЭВМ, разработанные в конце 50-х годов, содержали около 100 тыс. диодов и 25 тыс. транзисторов. В настоящее время уже в одной микросхеме число транзисторов измеряется миллионами.

8.1.4. Четвертый этап развития электроники: микроэлектроника

Микроэлектроника – область электроники, занимающаяся исследованием, конструированием, изготовлением и применением электронных функциональных устройств микроминиатюрного интегрального исполнения.

Микроэлектроника основана на планарной и пленочной технологиях, позволивших значительно уменьшить размеры элементов до единиц микрон и решить проблему надежности межэлементных соединений.

В микросхеме смартфона наших дней содержится больше транзисторов, чем в большом компьютере 30-летней давности. Такой прогресс был бы немислим без *интегральных схем (микросхем)*.

Интегральная схема (ИС) – это микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования (обработки) сигналов и содержащее большое количество элементов – транзисторов, резисторов, конденсаторов и т. д.

Термин «интегральная схема» указывает на то, что все элементы изделия объединены (интегрированы) и само изделие является конструктивно единым прибором.

Сложность ИС оценивается степенью интеграции. Она определяется коэффициентом $K = \lg N$, значение которого округляется до ближайшего большего целого числа, где N – число элементов и компонентов, входящих в состав ИС. Интегральные схемы первой степени интеграции ($K = 1$) содержат до 10 элементов, второй степени интеграции ($K = 2$) от 11 до 100 и т. д. ИС, содержащие 101–1000 элементов, называются большими интегральными схемами (БИС), а ИС с числом элементов более 10 000 – сверхбольшими (СБИС). Современные СБИС содержат несколько миллионов элементов.

По способу изготовления ИС подразделяются на гибридные и полупроводниковые, а по функциональному назначению – на аналоговые и цифровые.

Пленочная технология предусматривает изготовление пассивных электро- и радиоэлементов (резисторов, конденсаторов, индуктивностей) и соединительных проводников на диэлектрической подложке (плате) путем нанесения на нее слоев электропроводящих, резистивных и диэлектрических паст с последующим *травлением, вжиганием, фотолитографической* или иной обработкой. Варианты конструкций пленочных ИС приведены на рис. 8.17.

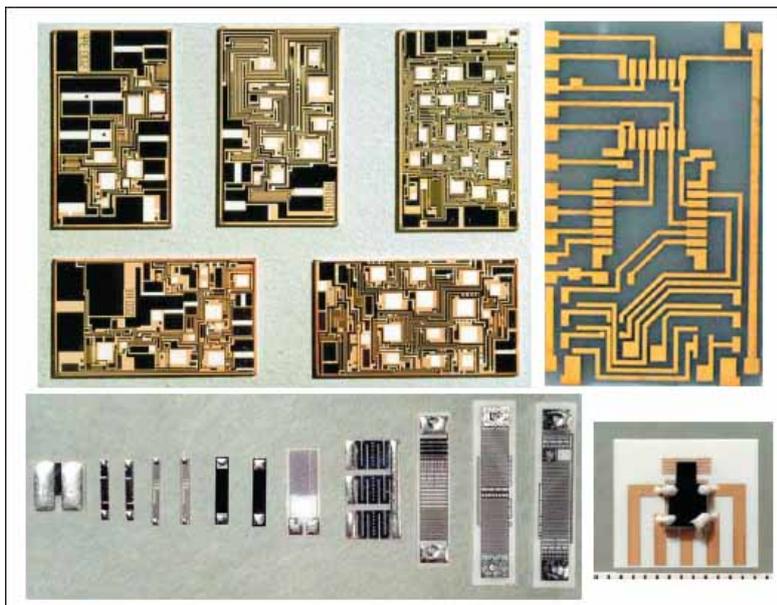


Рис. 8.17. Образцы пленочных ИС

Первую ИС изготовил *Джек Килби*, инженер компании Texas Instruments. 12 сентября 1958 г. он представил первый рабочий образец микросхемы – пластину 0,5 кв. дюйма (около 3 см²) с транзисторами и контактами, которую разрезали на три части и получили три генератора на частоту 1,3 МГц.

За изобретение интегральной микросхемы Дж. Килби в 2000 г. был удостоен Нобелевской премии. Дж. Килби известен также как создатель первого карманного калькулятора и первого термопринтера.

Идею *монолитной полупроводниковой интегральной схемы* впервые предложил и запатентовал *Роберт Нойс* (фирма Fairchild) в 1960 г.

В 1968 г. *Гордон Мур* и *Роберт Нойс* организовали небольшую фирму Intel из двенадцати человек. Задача, которую поставили перед собой Мур, Нойс и примкнувший к ним специалист по химической технологии *Эндрю Гроув*, – использовать интеграцию большого числа электронных компонентов на одном полупроводниковом кристалле для создания новых видов электронных приборов. А в 1999 г. ежемесячно фирма Intel производила 4 квадриллиона транзисторов, т. е. более полумиллиона на каждого жителя планеты!

Гордон Мур сформулировал эмпирический закон Мура: число транзисторов на кристалле интегральной схемы увеличивается в 2 раза каждые 18–24 месяца. График, иллюстрирующий закон Мура, приведен на рис. 8.18.

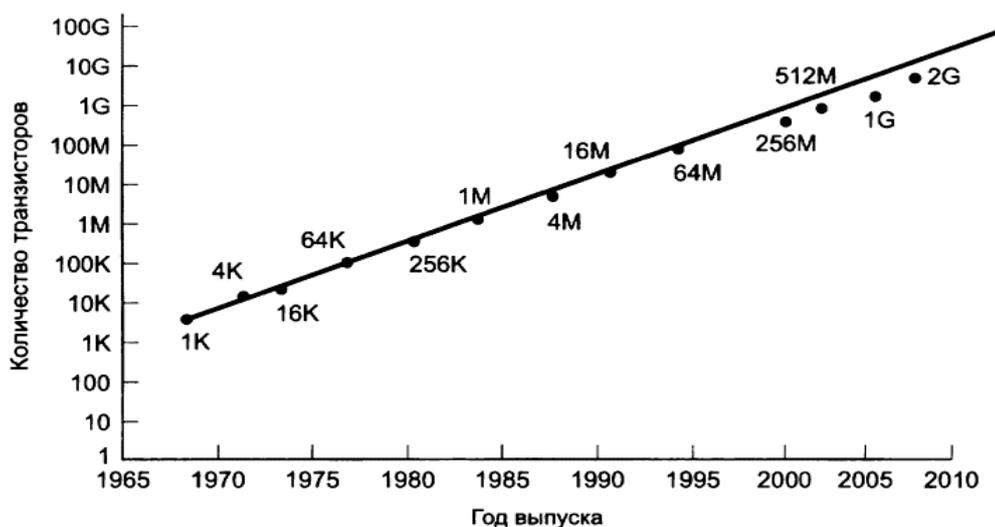


Рис. 8.18. Экспериментальное подтверждение закона Мура

Существует несколько трактовок закона Мура. Наиболее интересные из них:

- 1) производительность процессоров микроэлектронных устройств удваивается каждые 18 месяцев;
- 2) тактовая частота процессоров удваивается каждые 18 месяцев;
- 3) стоимость чипа уменьшается вдвое каждые 18 месяцев.

Закон Мура работает и в наши дни. Стоимость компьютеров и комплектующих постоянно снижается, а вычислительные мощности постоянно растут. Современные домашние компьютеры обладают мощностями, которые были, пожалуй, недоступны даже для суперкомпьютеров всего лишь несколько лет назад.

В 2007 г. Мур заявил, что его закон перестанет действовать из-за атомарной природы вещества и ограничения скорости света.

Согласно прогнозам Ассоциации полупроводниковой промышленности (Semiconductor Industry Association), членами которой являются такие гиганты, как IBM и Intel, уже после 2021 г. эра уменьшения размера полупроводниковых элементов завершится. Конечно, физически можно будет и дальше развивать новые проектные нормы, но эта идея станет настолько затратной, что попросту не окупится. Но это не означает, что прогресс остановится и закон Мура перестанет выполняться. Будет осуществляться поиск других путей развития. Среди наиболее перспективных отмечают современные технологии 3D-микросхем и другие разработки, позволяющие более эффективно использовать доступное пространство.

8.1.5. Пятый этап развития электроники: функциональная электроника

Если в интегральных микросхемах объединяется большое количество элементов, то в изделиях функциональной электроники интегрируются акустические, магнитные, оптические, термоэлектрические и другие объёмные и поверхностные физические эффекты. В функциональных микросхемах трудно или невозможно выделить отдельные элементы, эквивалентные традиционным (транзисторам, диодам, конденсаторам, катушкам индуктивности).

Одним из направлений функциональной электроники является *акустоэлектроника*, в том числе частотные фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ-фильтры). Пример топологии, частотной характеристики и конструктивного исполнения современного ПАВ-фильтра приведен на рис. 8.19. Одним из лидеров в области акустоэлектроники в нашей стране является Омский научно-исследовательский институт приборостроения (ОНИИП).

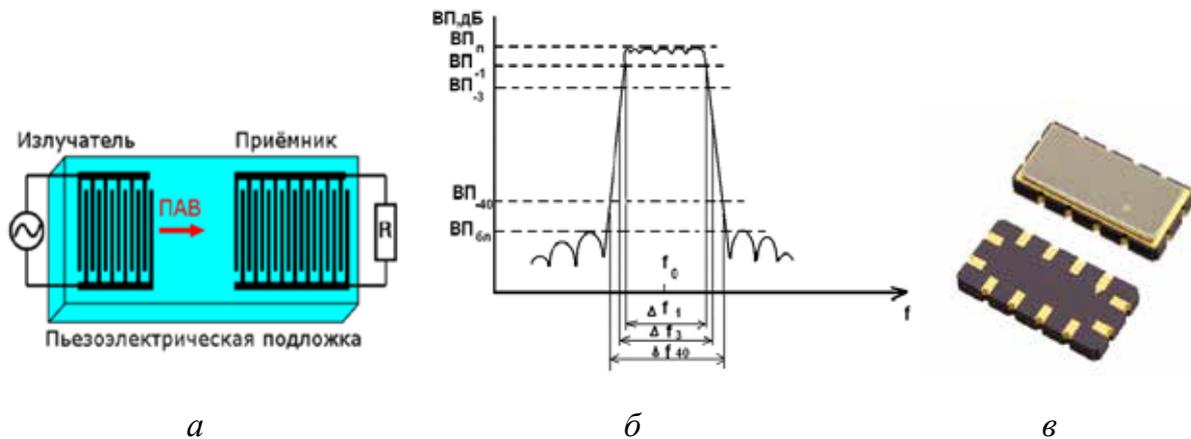


Рис. 8.19. Топология (а), частотная характеристика (б) и конструкция (в) ПАВ-фильтра

Функциональная микроэлектроника – перспективное направление развития электроники. Технологические процессы изготовления изделий функциональной электроники в значительной степени совместимы с процессами микроэлектроники: механическая и химическая обработка пластин; создание на их поверхности слоев из различных материалов; диффузия и ионная имплантация; литографическая обработка; сборка, герметизация, контроль, испытания и т. п.

В функциональной микроэлектронике используются взаимодействие потоков электронов со звуковыми волнами, оптические явления в твёрдом теле, свойства полупроводников, магнетиков и сверхпроводников в магнитных полях и др.

Первые работы в этой области принадлежат академику *Ю. В. Гуляеву*, который высоко оценивает достижения ОНИИП. В Омске лидером научной школы в области акустоэлектроники в настоящее время является *С. А. Доберштейн*, получивший ученую степень к.т.н. на РТФ ОмГТУ.

Очень важным направлением функциональной электроники является техника *кварцевой стабилизации частот*. Без высокостабильных кварцевых генераторов не может функционировать ни одно средство связи и даже кварцевые часы.

Основателями признанной в мире и в России школы омских разработчиков кварцевых генераторов являются *Ф. М. Ильин* и *И. А. Народицкий*. В 90-е и годы и в начале 2000-х годов достойным продолжателем этой школы, создавшим ряд генераторов мирового уровня, имеющих непревзойденные характеристики по времени готовности и чистоте спектра, является *А. И. Куталев*, работающий в этой области и в настоящее время.

Благодаря развитию микроэлектроники и инновационным решениям массогабаритные характеристики кварцевых генераторов за последние десятилетия многократно уменьшились (рис. 8.20).

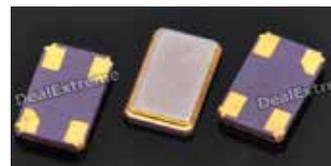
В ОмГТУ лидером научной школы в области кварцевых генераторов с цифровой термокомпенсацией является д.т.н., профессор *А.В. Косых*.



1970 г.



1990 г.



2010 г.

Рис. 8.20. Эволюция габаритных размеров высокостабильных кварцевых генераторов

До недавнего времени считалось, что у кварцевой технологии нет серьезных конкурентов. На сегодняшний день появились серьезные конкуренты со стороны микроэлектромеханических систем (МЭМС) и CSAC-технологий.

Название технологии Chip Scale Atomic Clock (CSAC) дословно переводится как «атомные часы по размеру кристалла». CSAC-генераторы – миниатюрные генераторы на атомных лазерных излучателях с очень высокой стабильностью. Практически все известные фирмы, выпускающие высокостабильные генераторы, имеют в своем активе миниатюрные малопотребляющие CSAC-генераторы.

Однако полное вытеснение одной технологии другой в ближайшем будущем не предвидится, а их конкуренция приведет к дальнейшему повышению качества продукции и разнообразит сегменты рынка.

8.2. НАНОЭЛЕКТРОНИКА – СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

К концу XX в. можно отнести шестой этап развития электроники под названием *наноэлектроника*.

Приставка «нано» означает одну миллиардную часть. Термины «нанометр», «наночастицы», «наноструктуры», «наноматериалы» и «нанотехнологии» распространились в научной литературе.

Термин «наноэлектроника» пришел на смену традиционному термину «микроэлектроника».

Наноэлектроника связана с разработкой архитектур и технологий производства функциональных устройств электроники с топологическими размерами элементов на порядки меньше – от 1 до 100 нм.

Основные даты и события из истории наноэлектроники

1905 год. Физик *Альберт Эйнштейн* опубликовал работу, в которой доказывал, что размер молекулы сахара составляет примерно 1 нм.

1931 год. Немецкие физики *Макс Кнолл* и *Эрнст Руска* создали электронный микроскоп, который впервые позволил исследовать нанообъекты.

1959 год. Американский физик *Ричард Фейнман* предположил, что возможно механически перемещать одиночные атомы с помощью манипулятора соответствующего размера. По крайней мере, такой процесс

не противоречил бы известным на сегодняшний день физическим законам. Это было первое упоминание о нанотехнологии.

1974 год. Японский физик *Норио Танигучи* ввел в научный оборот слово «нанотехнологии», которым предложил называть механизмы размером менее одного микрона. Греческое слово «нанос» означает «гном», им обозначают миллиардные части целого.

1981 год. Германские физики *Герд Бинниг* и *Генрих Рорер* создали сканирующий туннельный микроскоп, способный показывать отдельные атомы.

1985 год. Американские физики создали технологию, позволяющую точно измерять предметы диаметром в один нанометр.

1993 год. В США начали присуждать Фейнмановскую премию, названную в честь физика *Ричарда Фейнмана*. В 1959 г. он произнес пророческую речь, в которой заявил, что многие научные проблемы будут решены лишь тогда, когда ученые научатся работать на атомарном уровне. В 1965 г. Фейнману была присуждена Нобелевская премия за исследования в сфере квантовой электродинамики – ныне это одна из областей нанонауки.

1998 год. Голландский физик *Сез Деккер* создал транзистор на основе нанотехнологии.

В 1985 г. открыты *фуллерены* – новая структурная форма существования углерода. В 1991 г. на их основе созданы *нанотрубки* – углеродные пористые структуры цилиндрической формы, обладающие целым рядом уникальных свойств, вплоть до сверхпроводимости. Эти открытия дали старт наноэлектронным исследованиям, опирающимся на схему «снизу вверх», с ее идеологией конструирования устройств буквально из единичных атомов.

2001 год. Научный журнал *Science* назвал нанотехнологии «прорывом года», а бизнес-журнал *Forbes* – «новой многообещающей идеей». Ныне по отношению к нанотехнологиям периодически употребляют выражение «новая промышленная революция».

В 2004 г. мировые инвестиции в сферу разработки нанотехнологий достигли 10 млрд долл. и стремительно возрастают.

2008 год. Создано Нанотехнологическое общество России, в задачи которого входит просвещение российского общества в области нанотехнологий и формирование благоприятного общественного мнения в пользу нанотехнологического развития страны.

В 2015 г. в мире выпуск изделий на основе нанотехнологий достиг 1 трлн долл.

В развитии нанотехнологий можно выделить три направления:

1) изготовление устройств и систем с нанотранзисторами и другими активными элементами, размеры которых сравнимы с размерами единичных молекул и атомов;

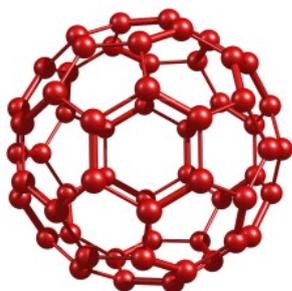
2) непосредственное манипулирование атомами и молекулами, сборка из них всевозможных материалов с изначально заданными свойствами («зонная инженерия»);

3) разработка и изготовление наномашин (механизмов, роботов) величиной с молекулу, способных на принципах самоорганизации воспроизводить себе подобных.

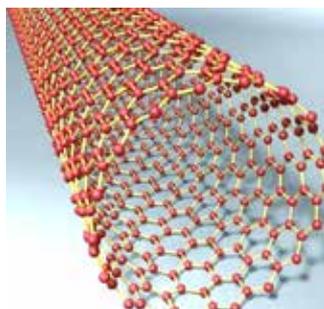
Технологии нанoeлектроники не только включают средства и методы, ранее не известные для микроэлектроники, например использование нанотрубок и фуллеренов, но и используют новые методические подходы и разработки, служащие для создания, измерения и анализа параметров наноструктурных объектов. К ним относятся, в частности, различные методы *зондовой микроскопии* (туннельная микроскопия, атомно-силовая микроскопия), с помощью которых объекты нанoeлектроники могут как исследоваться, так и создаваться.

Нанотрубка представляет собой цилиндрическую структуру (рис. 8.21) толщиной в несколько атомов, которая в зависимости от размера и формы может обладать проводящими либо полупроводниковыми свойствами.

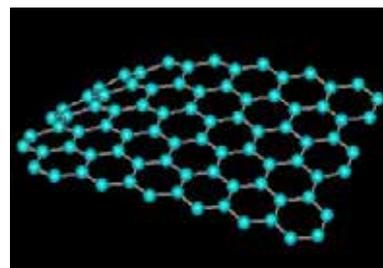
Нанотрубки могут придать электронным схемам революционные механические и оптические свойства. Оптические матрицы с интегральными схемами на основе нанотрубок можно изгибать без потери электронных свойств.



Фуллерен



Нанотрубка



Графен

Рис. 8.21. Наноструктуры

Графен – двумерный кристаллический углеродный наноматериал, который можно представить как пластину, состоящую из одного слоя атомов углерода (рис. 8.21). Графен является самым простым по строению среди других модификаций углерода и может рассматриваться в качестве их структурного блока. Например, если слои графена расположить друг над другом с небольшим смещением по плоскости, то получится обыкновенный графит. Графен можно свернуть в цилиндр, и тогда получится однослойная углеродная нанотрубка. Если же лист графена определенной формы свернуть так, чтобы образовалась сфера, то получится похожий на футбольный мяч фуллерен.

Графен обладает уникальными токопроводящими свойствами, которые позволяют ему служить как очень хорошим проводником, так и полупроводником. Кроме того, графен чрезвычайно прочен и выдерживает огромные нагрузки как на разрыв, так и на прогиб.

В настоящее время графен получают путем отшелушивания чешуек от частиц графита, однако существуют разработки, позволяющие получать данный материал в промышленных масштабах.

Способом отшелушивания графен впервые получен и открыт учеными из Манчестерского университета – выходцами из России *А. Геймом* и *К. Новоселовым*, которым в 2010 г. за открытие и получение графена была вручена Нобелевская премия.

Графен можно рассматривать как перспективный элемент при производстве компьютеров, мониторов, солнечных батарей и для применения в гибкой электронике.

В 1998 г., когда на базе нанотрубок ученым удалось получить транзисторный эффект, зародилась идея создавать электронные компоненты не из целых частей полупроводниковых и других материалов, а из отдельных атомов и молекул. Сначала она казалась почти утопической, но дальнейшая история развития наноэлектроники показала ее реальность.

Конечно, пройдет еще немало времени, прежде чем транзисторы на основе нанотрубок будут внедрены в массовое производство, однако уже сейчас становится очевидным, что эти транзисторы имеют массу преимуществ по сравнению с традиционными и что они будут востребованы в скором будущем.

Перспективное применение нанотрубок – это создание энергонезависимой оперативной памяти NRAM (Nonvolatile Random Access Memory). Первой данный тип памяти реализовала компания *Nantero*.

По сравнению с традиционными типами памяти память NRAM имеет ряд преимуществ. Во-первых, несмотря на то, что это оперативная (RAM) память, она является энергонезависимой. Во-вторых, по утверждениям компании *Nantero*, плотность записи информации в устройствах NRAM может достигать 5 млрд бит на квадратный сантиметр (в несколько раз больше, чем в сегодняшних микросхемах памяти), а частота работы памяти – до 2 ГГц.

К настоящему времени компания *Nantero* выпустила модуль NRAM-памяти емкостью 10 Гбит.

8.3. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Предметом промышленной электроники является электроника, используемая при выполнении технологических процессов, необходимых для производства различных видов товаров, изделий и услуг.

Хотя изделия, производимые в различных отраслях, существенно различаются, электронные устройства, схемы и системы, используемые для управления различными технологическими установками, зачастую очень похожи. Промышленная электроника основана на общих концепциях и технологиях, применяемых при создании таких установок.

Рассмотрим хронологию главных событий и изобретений, которые позволили промышленности перейти от ручного труда и управляемых вручную машин к полностью автоматизированным промышленным системам, используемым сегодня во всем мире.

1927 г. – в Калифорнии построен первый автоматически управляемый нефтепровод с электроприводом.

1928 г. – электронные лампы используются для управления двигателями постоянного тока.

1941 г. – появляется первый промышленный двигатель переменного тока с регулируемой скоростью вращения.

1957 г. – появляется первый промышленный полупроводниковый привод двигателя с регулируемой частотой вращения.

1958 г. – представлен станок, управляемый встроенным компьютером.

1968 г. – отделением Oldmobile фирмы «Дженерал моторс» разработан программируемый логический контроллер.

1969 г. – фирма Molins Machine в Англии применяет компьютеры для управления производственными процессами.

1973 г. – в компании Cincinnati Milacron Corporation изобретен первый коммерческий управляемый компьютером промышленный робот, названный инструментом будущего.

1980 г. – в Японии, США и Великобритании вводится понятие автоматизированного интегрированного производства (СІМ).

1984 г. – корпорация Adept представляет руку робота с непосредственным приводом.

2001 г. – все более широкое применение в автоматизации находят беспроводные сети.

8.4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Дальнейший прогресс электроники характеризуется не только сохраняющим пока свое действие законом Мура, но также развитием новых технологий объединения отдельных СБИС в функционально сложные системы.

1. Развитие традиционных технологий корпусирования.

На современном этапе развития корпусирования можно выделить следующие основные тенденции:

- увеличение количества выводов;
- уменьшение минимального шага выводов компонентов в корпусах различных типов;
- переход от расположения выводов по периметру к расположению выводов под корпусом;
- интеграция нескольких компонентов в один корпус.

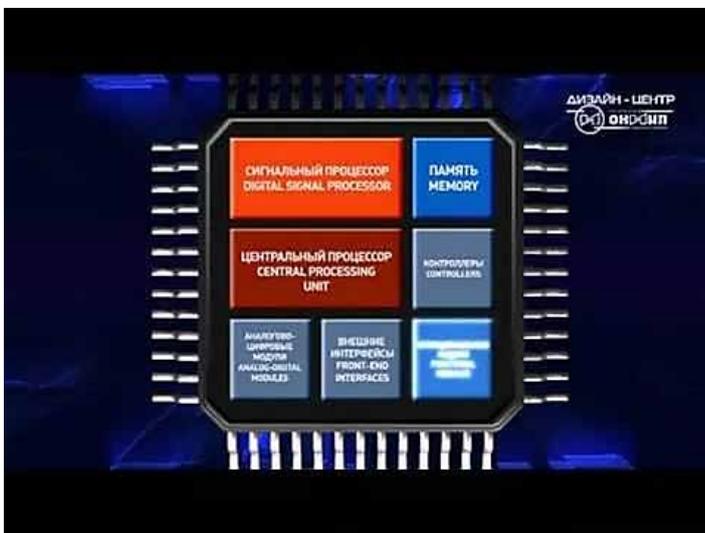
Уменьшение шага выводов компонентов FBGA и QFP фактически достигло своих пределов: 0,65 и 0,3 мм соответственно. Минимальный шаг выводов компонентов FBGA продолжит снижаться.

2. Системы на кристалле.

Успехи в полупроводниковой технологии интегральных микросхем сделали возможным объединение на кристалле СБИС нескольких про-

граммируемых блоков, образующих функционально законченную систему. Такая СБИС получила название «система на кристалле» (СнК) (рис. 8.22). СнК обычно включает одно или несколько процессорных ядер, модули памяти, высокопроизводительные шины, аналого-цифровые интерфейсы, программируемую логику и другие макроблоки. Данный стиль проектирования (SoC-проектирование) начал применяться, начиная с технологических норм порядка 250–350 нм, позволяющих размещать десятки и сотни миллионов транзисторов на одном кристалле. Таким образом, СБИС СнК – это СБИС, объединяющая на кристалле различные функциональные блоки, которые образуют законченное изделие для автономного применения в электронной аппаратуре.

В перспективе в рамках систем на кристалле могут быть решены многие проблемы интеграции аналоговых, цифровых, радиочастотных (RF) и даже более экзотических структур – микромеханических систем (MEMS), датчиков, силовых приводов, химических преобразователей, оптических блоков и т. п. Поэтому в современной интерпретации СнК является сложной интегральной схемой, объединяющей на одном чипе или чипсете все основные функциональные элементы полного конечного продукта.



а



б

Рис. 8.22. СБИС СнК:

а – блок-схема; *б* – конструктивное исполнение

3. Системы в корпусе.

Система в корпусе (System in Package, SiP) – это комбинация нескольких активных электронных компонентов различной функциональности,

собранный в единый модуль (рис. 8.23), которая обеспечивает реализацию разных функций, обычно выполняемых системой или подсистемой. Система в корпусе может иметь в своем составе пассивные компоненты, микроэлектромеханические системы (МЭМС), оптические компоненты и другие корпуса и устройства.

Объединение этих компонентов в одном корпусе имеет существенные преимущества: конструкция становится меньше, легче, надежней и дешевле.

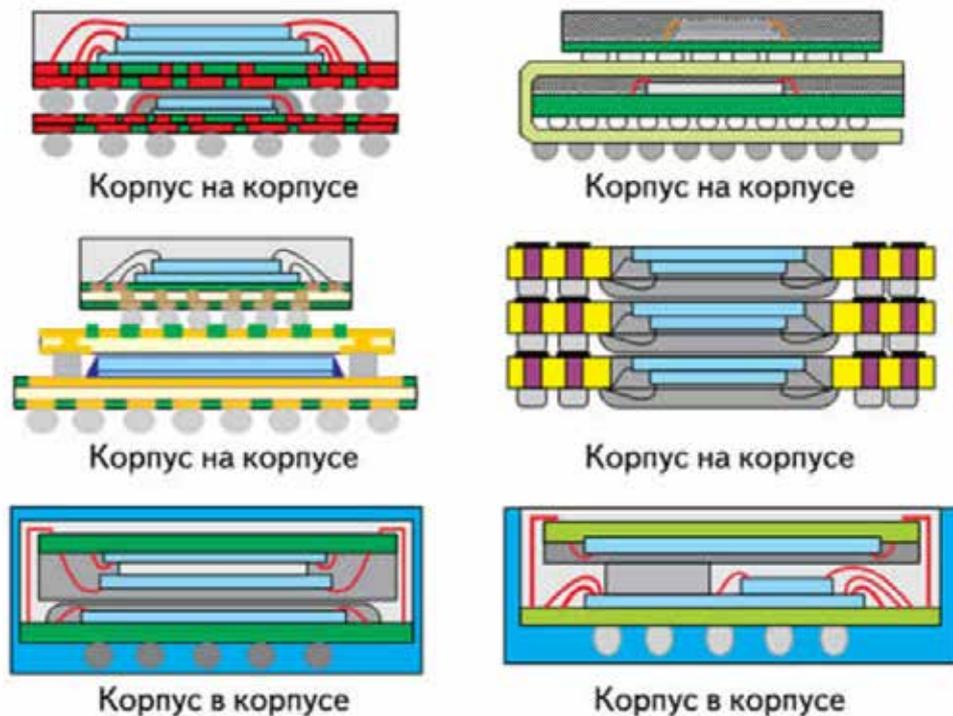


Рис. 8.23. Варианты конструктивного исполнения систем в корпусе

4. 3D-интеграция.

Под 3D-интеграцией понимается расположение кристаллов друг над другом с созданием вертикальных соединений между кристаллами.

Потенциальные преимущества, обеспечиваемые 3D-интеграцией, включают в себя уменьшение размеров системы, сокращение длины межсоединений благодаря замене длинных горизонтальных связей на короткие вертикальные и снижение энергопотребления.

5. Печатные платы со встроенными компонентами.

Встраивание активных и пассивных компонентов в печатные платы позволяет реализовать новые технологии межсоединения без использования разварки, что обеспечивает улучшенные тепловые и электрические характеристики, а также возможность размещения кристалла над кристаллом.

6. Микроэлектромеханические системы (МЭМС).

МЭМС – это технологии и устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты. Типичный размер микромеханических элементов, входящих в МЭМС, лежит в пределах от 1 до 100 мкм. В качестве примеров МЭМС можно привести датчики ускорений (в том числе используемые для активации автомобильных подушек безопасности), датчики давления воздуха в шинах автомобиля и кардиостимуляторы.

Основные преимущества МЭМС заключаются в низкой стоимости благодаря использованию технологий микроэлектроники для производства микромеханических элементов; в малых размерах и малой массе, что позволяет использовать их в портативных устройствах, таких как мобильные телефоны и ноутбуки; в существенно меньшем энергопотреблении.

7. Органическая и печатная электроника.

Технологии, применяемые в органической и печатной электронике, основаны на использовании органических проводящих и полупроводящих материалов, а также неорганических материалов, пригодных для нанесения методом печати. Ключевые примеры изделий органической электроники: сворачиваемые дисплеи, гибкие солнечные батареи, одноразовые средства диагностирования, печатные батареи, печатные радиометки, органическая память, органические датчики.

Впервые органические электронные устройства появились на рынке в 2005–2006 гг.

Гибкие литийполимерные батареи, производимые по технологии ротационной печати, уже несколько лет известны на рынке, их можно использовать в смарткартах и других мобильных потребительских устройствах.

За последние несколько лет был достигнут большой прогресс в области печатных радиометок на основе органической электроники.

Обзор почти 200-летней истории изобретений, открытий и разработок в области радиоэлектроники позволяет прийти к следующим выводам:

- достичь современного уровня развития промышленного управления и автоматизации производства можно было только на основе изобретений и разработок в области электроники и компьютерной техники;

- потребность в инженерах, обладающих знаниями в области электроники, существует уже в течение более чем пятидесяти лет и будет существовать в обозримом будущем.

Контрольные вопросы к теме 8

1. Основные пассивные электронные компоненты и их свойства.
2. Основные активные электронные компоненты и их свойства.
3. Свойства и характеристики резисторов.
4. Какие разновидности резисторов и области их применения вам известны?
5. Свойства и характеристики индуктивностей.
6. Свойства и характеристики конденсаторов.
7. Принципы функционирования и виды электронных ламп.
8. Изобретение транзистора и его свойства.
9. Предметная область промышленной электроники.
10. Явление термоэлектронной эмиссии и его применение в радиоэлектронике.
11. Функциональные возможности первой электронной лампы Флеминга.
12. Функциональные возможности аудиона Фореста.
13. Особенности конструкции и технологии производства микросхем.
14. Объясните понятие «степень интеграции» интегральных схем.
15. Закон Мура и его трактовки.
16. Диапазон топологических размеров элементов, условно относящихся к области наноэлектроники.
17. Особенности структур и свойства графена и нанотрубок.

Список рекомендуемой литературы

1. Соколов, С. В. Электроника : учеб. пособие для вузов / С. В. Соколов, Е. В. Титов ; под ред. С. В. Соколова. – М. : Горячая линия-Телеком, 2013. – 204 с.
2. Москатов, Е. А. Электронная техника : учеб. пособие / Е. А. Москатов. – М. : КНОРУС, 2017. – 200 с.

3. Левченко, В. И. Введение в специальность «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» [Электронный ресурс] : конспект лекций / В. И. Левченко. – Изд-во ОмГТУ, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
4. Штыков, В. В. Введение в радиоэлектронику : учебник и практикум для вузов / В. В. Штыков. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2016. – 271 с.
5. Рег, Д. А. Промышленная электроника / Д. А. Рег, Г. Д. Сартори. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 1136 с.
6. Немудров, В. Системы-на-кристалле. Проектирование и развитие / В. Немудров, Г. Мартин. – М. : Техносфера. 2004. – 216 с.
7. Нисан, А. Восемь тенденций, которые изменят электронику / А. Нисан // Технологии в электронной промышленности. – 2011. – № 2. – С. 4–8.

Тема 9

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Приборостроение – это отрасль науки и техники, разрабатывающая и производящая средства измерения, обработки и представления информации, автоматические и автоматизированные системы управления.

Основным направлением развития приборостроения является *измерительная техника*, состоящая из методов и приборов измерения механических, электрических, магнитных, тепловых, оптических, акустических и других физических величин.

Приборостроение – отрасль, определяющая научно-технический уровень любой страны мира. В жизни общества по мере его развития измерения занимают все большую роль, поскольку это единственный способ получения объективной количественной информации об явлениях и объектах окружающей среды.

Измерительные приборы совместно с автоматическими управляющими и исполнительными устройствами образуют техническую базу *автоматизированных систем управления* различными объектами и технологическими процессами (АСУТП).

Без широкого использования современных приборов, средств автоматизации и автоматизированных систем управления совершенно невозможно реализовать какие бы то ни было инновации ни в области науки, ни в сфере производства.

На измерительной технике и электронике основаны *системы контроля качества и диагностики* в различных областях деятельности и жизни человека и созданные им научные и производственные системы.

В настоящее время приборостроение содержит ряд разделов, сложно связанных между собой. Важнейшим разделом приборостроения является радиоэлектронное приборостроение, к которому относятся радиоизмерительные приборы и системы, приборы систем управления, оптотехника и т. д.

9.1. ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Измерительная техника существует с глубокой древности. За несколько тысячелетий до новой эры развитие товарообмена привело к необходимости измерения веса и появлению весов.

Измерительная техника требовалась также для измерения площадей земельных участков, в астрономических наблюдениях и кораблевождении (измерение углов и расстояний), в строительстве (измерение размеров).

Сложившаяся со временем классификация средств измерений приведена на рис. 9.1.

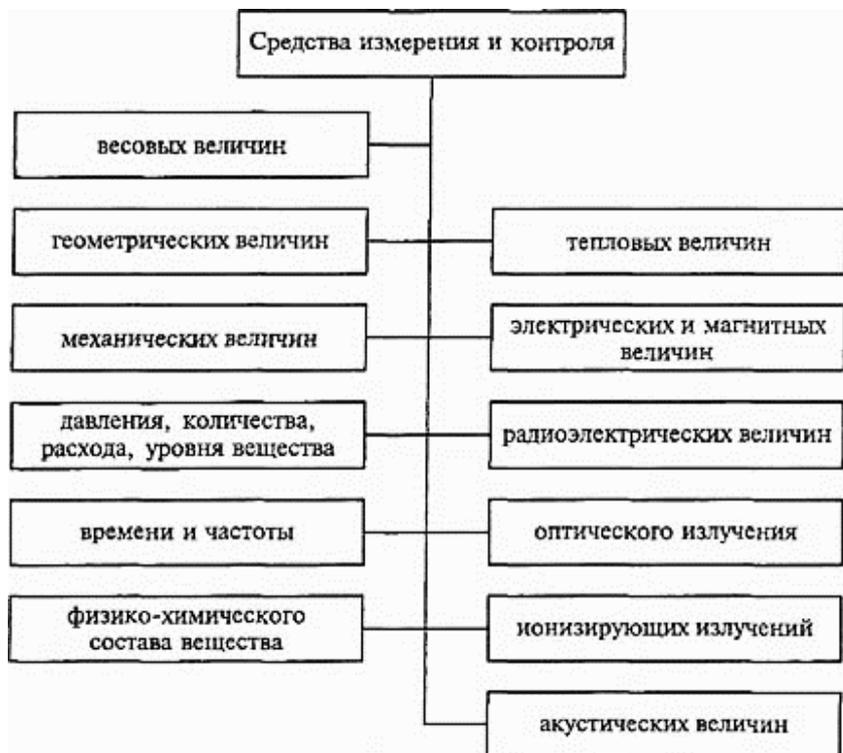


Рис. 9.1. Классификация средств измерений

Приведенная классификация не является исчерпывающей. С развитием техники и технологий возникают как новые измеряемые величины, так и новые средства измерений.

Совершенствование измерительной техники происходило одновременно с бурным развитием физики, которая, основываясь первоначально только на эксперименте, полностью опиралась на измерительную технику.

К периоду XV–XVI вв. относятся усовершенствование часов, изобретение микроскопа, барометра, термометра, первых электроизмерительных приборов и других измерительных устройств, использовавшихся главным образом в научных исследованиях.

В конце XVI – начале XVII в. повышение точности измерений способствовало революционным научным открытиям. Так, например, точные астрономические измерения позволили *И. Кеплеру* установить, что планеты обращаются по эллиптическим орбитам.

В XIX в. были созданы основы теории измерительной техники и метрологии, получила распространение метрическая система мер, обеспечившая единство измерений в науке и производстве.

В создании измерительных приборов и разработке их теории принимали участие крупнейшие учёные – Г. Галилей, И. Ньютон, Х. Гюйгенс и др. Каждое открываемое физическое явление воплощалось в соответствующем приборе, который, в свою очередь, помогал точно определить значение исследуемой величины и установить законы природы.

Благодаря развитию теплоэнергетики, внедрению электрических средств связи, а затем и первых электроэнергетических установок начали использоваться методы и средства измерения, которые до этого применялись лишь при научных исследованиях, – появились теплотехнические и электроизмерительные приборы.

Начало XX в. знаменует новый этап в развитии измерительной техники – электрические средства, а позднее и электронные средства начинают применяться для измерения механических, тепловых, оптических величин, для химического анализа, геологической разведки и т. д., т. е. для измерений любых величин.

Появляются такие новые отрасли, как *радиоизмерение, спектрометрия* и др. Возникает *приборостроительная промышленность*.

В XX в. большинство приборов было модернизировано на базе электроники, что значительно повысило их точность, расширило функциональные возможности, радикально улучшило эксплуатационные характеристики, а также совместимость с различными устройствами, машинами и механизмами.

Высокие темпы научно-технического прогресса в области теории и практики автоматизации при управлении подвижными объектами, физическими и технологическими процессами в различных отраслях производства и при научных исследованиях привели к появлению специальных периодических журналов, посвящённых проблемам приборостроения.

Так, в январе 1958 г. вышел первый номер журнала «*Известия вузов – Приборостроение*». Появление такого научного журнала обуславливалось невиданными до того темпами технического прогресса в области теории и практики автоматизации как при управлении подвижными объектами, физическими и технологическими процессами в различных отраслях производства и при научных исследованиях, так и в области интеллектуальной деятельности. Этот журнал издаётся и в настоящее время.

О высоком научном уровне журнала свидетельствует то, что он распространяется во многих ведущих в области приборостроения странах мира.

«Автоматика, связь, информатика» – ежемесячный научно-теоретический и производственно-технический журнал ОАО «Российские железные дороги». Выходит в свет с 1923 г., тогда он назывался «Электротехника и связь на путях сообщения».

За прошедшие 90 лет название журнала неоднократно изменялось: в 1926 г. – «Связь и электротехника», 1932 г. – «Сигнализация и связь на железнодорожном транспорте», 1936 г. – «Связист», 1957 г. – «Автоматика, телемеханика и связь», 1998 г. – «Автоматика, связь, информатика».

9.2. МЕТРОЛОГИЯ – ОСНОВА ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

В основе технологий приборостроения лежит *метрология* (от греч. *métron* – мера и *logos* – наука) – наука об измерениях, методах достижения их единства и требуемой точности.

Метрология занимается вопросами организации измерений, их согласованности, достоверности и соответствия требованиям в рамках организации, региона, страны, а также на международном уровне.

Одним из важнейших предназначений метрологии как науки и области практической деятельности является *обеспечение единства измерений*.

Первым условием обеспечения единства измерений является представление результатов измерений в узаконенных единицах, которые были бы одними и теми же всюду, где проводятся измерения и используются их результаты.

На рубеже XIX и XX вв. в промышленно развитых странах стали создаваться *метрологические учреждения*. В России в 1893 г. была образована *Главная палата мер и весов*, которую возглавил *Дмитрий Иванович Менделеев*. Именно благодаря трудам и энергии Д. И. Менделеева отечественная метрология стала подлинной наукой об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения точности в соответствии с потребностями развивающихся отраслей науки, промышленности, всей экономической жизни страны. В настоящее время бывшая Главная палата мер и весов – это Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии (ВНИИМ) им. Д. И. Менделеева, находящийся в распоряжении Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарта).

Основные термины и определения в метрологии сформулированы в ряде нормативно-технических документов.

В 1960 г. на XI Международной конференции по мерам и весам была принята Международная система единиц – система СИ. Сегодня метрическая система узаконена более чем в 124 странах мира.

В области метрологии следует отметить тенденцию перехода от эталонов, изготовленных человеком, к *естественным* эталонам, основанным на волновых и дискретных свойствах материи.

В качестве эталона единицы длины утвержден *метр*, который равен длине пути проходимого светом в вакууме за $1/299792458$ долю секунды, где 299792458 – фундаментальная константа, равная значению скорости света.

Единица времени *секунда* соответствует 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя уровнями основного состояния атома цезия-133.

Единица силы электрического тока *ампер* – значение тока, который, протекая в вакууме по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, расположенным один от другого на расстоянии 1 м, создает на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Единицей температуры является *кельвин*, составляющий $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.

Эталон единицы силы света – *кандела* – представляет собой силу света источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 540 ТГц, энергетическая сила света которого составляет $1/683$ Вт/ср.

Подобно этому, единица электрического заряда может быть установлена через заряд электрона, единица массы – через массу какой-либо из элементарных частиц и т. д.

Большой раздел метрологии посвящен методам нахождения оценок погрешностей измерений, для чего используется аппарат теории вероятностей и математической статистики, а также других разделов математики.

Измерительная аппаратура – основное оборудование научно-исследовательских институтов и лабораторий, неотъемлемая часть оснастки любого технологического процесса, главный полезный груз ракет, искусственных спутников Земли и космических станций.

9.3. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Быстро развивающимся перспективным направлением является *аналитическое приборостроение*, создающее устройства для определения состава и концентрации веществ в различных средах, материалах и продуктах.

К ним относятся электрохимические, ультразвуковые, оптические, ядерные и иные анализаторы, сложные многопараметровые аналитические системы.

Современные средства *физико-химического анализа* используют разнообразные явления, вызываемые воздействием электрического тока, электромагнитных волн или проникающей радиации на исследуемую среду.

Развитие металлургии, химии, биологии и других отраслей связано с необходимостью точного анализа состава руд, металлов и сплавов, нефтепродуктов, примесей в полупроводниках, наличия различных элементов в пищевых продуктах и живых средах в широком диапазоне состава и концентрации, требует применения многокомпонентных анализаторов.

Таковыми приборами являются рентгеновские *квантометры*, *полярографы*, *масс-спектрометры*, *хроматографы*, точно фиксирующие элементарную картину многих минеральных и органических соединений. Приборостроение не только создаёт и выпускает такие приборы, но и обеспечивает возможность комплексного применения средств аналитической техники в системах автоматического контроля и регулирования технологических процессов.

Достижения вычислительной техники позволяют приборостроению существенно расширить арсенал методов и средств автоматизированного управления технологическим оборудованием, энергетическими установками, промышленными предприятиями, транспортными средствами, научными исследованиями.

Вычислительные устройства также входят в состав измерительных, аналитических, испытательных установок и систем в качестве средств хранения и математической обработки информации для получения синтезированных результатов. Они применяются и как средства программного управления различными машинами, станками, манипуляторами и поточными линиями. В настоящее время нет такого вида человеческой деятельности, которая обходилась бы без аналитических и измерительных приборов.

Кроме приборов для извлечения, формирования, хранения, передачи, представления и использования информации широкого научного и промышленного назначения, приборостроение создаёт и выпускает много различных специальных приборов для геофизики, гидрометеорологии, медицины, сельского хозяйства, транспорта, лабораторное оборудование, специализированные комплектные лаборатории.

С прогрессом в области приборостроения и промышленной электроники связаны перспективы создания полностью автоматизированных производств, что является радикальным средством многократного повышения производительности труда. Так, например, уже есть полностью автоматизированные заводы по сборке телевизоров, автомобилей и т. п. В сборочных цехах нет людей, там погашен свет, выключены отопление и вентиляция – они роботам не нужны. Практически на всех подобных производствах, где можно заменить ручной труд приборами, роботами и манипуляторами исчезнут профессии, основанные на низкой квалификации рабочих. Люди, потерявшие работу, будут повышать или менять свою квалификацию, находить новые сферы приложения своих способностей.

9.4. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И РАДИОУПРАВЛЕНИЕ

Значительное место в приборостроении занимают *системы дистанционного управления*, в том числе *системы радиуправления*, включающие средства передачи информационных сигналов и управляющих импульсов на большие расстояния, датчики и исполнительные устройства (*телемеханика*). В общем случае система телемеханики содержит в своем составе функциональные блоки, приведенные на рис. 9.2.



Рис. 9.2. Функциональная схема системы телемеханики

Наиболее впечатляющие достижения приборостроения в сочетании с радиоуправлением можно показать на примере освоения космоса беспилотными космическими аппаратами.

«Луна» – наименование советской программы исследования Луны и серии космических аппаратов, запускаемых в СССР к Луне начиная с 1959 г.

2 января 1959 г. впервые в истории человечества космическая ракета достигла второй космической скорости и вывела на лунную траекторию автоматическую станцию «Луна-1». При полете «Луны-1» с помощью установленных на ней приборов получены сведения о радиационном поясе Земли и космическом пространстве. Однако ракете не удалось «прилуниться» и она вышла на гелиоцентрическую орбиту.

12 сентября 1959 г. с космодрома «Байконур» был вывод на траекторию полета к Луне станции «Луна-2». На ней были размещены четыре штыревые антенны радиопередатчика, работавшего на частоте 183.6 МГц. Из приборного оборудования на станции были установлены счетчики Гейгера, магнитометры, детекторы микрометеоритов. «Луна-2» достигла поверхности Луны, совершив первый в истории человечества полет с Земли на Луну, и доставила на лунную поверхность вымпел с изображением герба СССР.

4 октября 1959 г. стартовала автоматическая станция «Луна-3». В ходе этого полета впервые в истории были получены фото обратной стороны Луны.

3 февраля 1966 г. станция «Луна-9» совершила первую в мире мягкую посадку на Луне в Океане Бурь. Во время сеансов связи «Луна-9» передала панорамные изображения лунной поверхности.

10 ноября 1970 г. с космодрома «Байконур» к Луне была отправлена станция «Луна-17». 17 ноября в Море Дождей на лунный грунт съехал первый в мире планетоход – дистанционно управляемый самоходный аппарат «Луноход-1» (рис. 9.3), который проработал на Луне 10,5 месяцев (11 лунных дней). За время работы «Луноход-1» обследовал площадь 80 тыс. м². Он произвёл химический анализ грунта Луны в 25 точках и передал на Землю 211 лунных панорам и 25 тыс. фото.

В 1977 г. для исследования дальних планет Солнечной системы был запущен американский космический аппарат «Вояджер-1» (рис. 9.4).

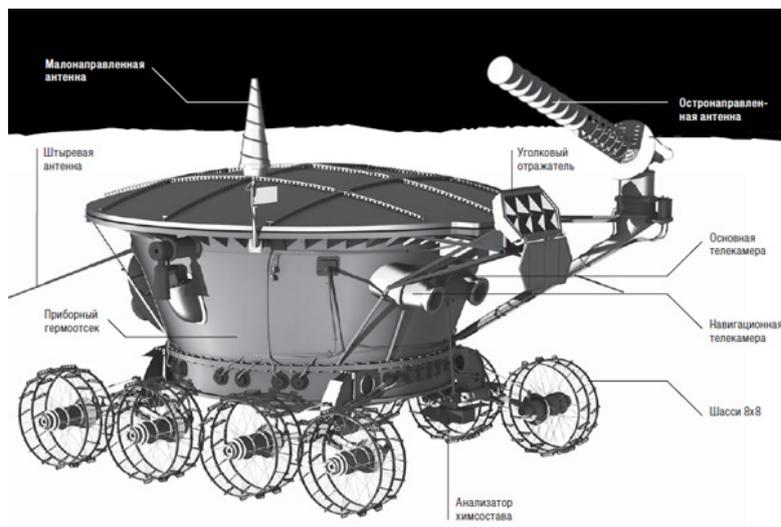


Рис. 9.3. «Луноход-1»



Рис. 9.4. «Вояджер-1»

В проекте были реализованы уникальная радиопередача сверхдальней передачи информации и приборы для измерения характеристик космического пространства. «Вояджер» отправил на Землю фотографии Юпитера, Сатурна и Нептуна и продолжает передавать информацию о строении Вселенной.

Недавно «Вояджер» покинул Солнечную систему на расстоянии более 20 млрд км от Земли и по-прежнему от него принимается информация – радиосигналы со скоростью света идут от «Вояджера» 17 часов. «Вояджер» использует 23-ваттный радиопередатчик.

Технические решения для достижения сверхдальней передачи сигналов:

- 1) большие направленные антенны (земная и на аппарате). У антенны «Вояджера» диаметр антенны равен 3,7 м, антенна на Земле 34-метровая;
- 2) использование 8-гигагерцевого диапазона радиочастот с малым уровнем помех;

3) данные от «Вояджера» передаются с медленной скоростью (160 бит в секунду).

В настоящее время стремительно развивается такое перспективное направление приборостроения, основанное на достижениях радиоэлектроники и информатики, как создание *беспилотных транспортных средств*: беспилотные летательные аппараты, беспилотные поезда, беспилотные суда, беспилотные автомобили.

Радиоэлектронное приборостроение кардинально преобразует жизнь людей.

Контрольные вопросы к теме 9

1. Физические величины, определяемые приборами радиоизмерительной техники.
2. История создания и первый руководитель российской Палаты мер и весов.
3. Наука, являющаяся основой приборостроения.
4. Современный принцип установления измерительных эталонов.
5. Основные структурные единицы системы телемеханики.
6. Примеры достижений космического приборостроения и радиоуправления.
7. Перспективы приборостроения в транспортной сфере.
8. Примеры российских научных журналов в области приборостроения.

Список рекомендуемой литературы

1. Штыков, В. В. Введение в радиоэлектронику : учебник и практикум для вузов / В. В. Штыков. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2016. – 271 с.
2. Земляков, В. Л. История и методология приборостроения : учеб. пособие / В. Л. Земляков, А. В. Нагаенко. – Ростов н/Д : Изд-во ЮФУ, 2012. – 110 с.
3. Технология приборостроения : учеб. пособие / В. А. Валетов, Ю. П. Кузьмин, А. А. Орлова, С. Д. Третьяков. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2008. – 336 с.

Тема 10

РАЗВИТИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ В Г. ОМСКЕ

Радиоэлектроника Омска – омские предприятия, обеспечивающие разработку и серийный выпуск радиоэлектронной продукции. Эти предприятия разрабатывают и производят средства связи, радиоэлектронное вооружение, радиоэлектронные приборы, изделия микроэлектроники, акустоэлектроники и др. Большинство крупных высокотехнологичных предприятий радиоэлектронной отрасли в г. Омске относятся к оборонно-промышленному комплексу (ОПК) России.

Состояние радиоэлектронной промышленности (РЭП) сегодня определяет уровень технологической независимости, экономической, продовольственной, информационной и военной безопасности государства, охраны здоровья и безопасности населения. Об оборонной значимости радиоэлектронной отрасли свидетельствует тот факт, что в сводном реестре организаций оборонно-промышленного комплекса предприятия РЭП составляют 40 %. На их долю приходится около 16 % объема промышленной продукции и 30 % всех научных разработок ОПК.

Предприятиям радиоэлектроники Омска отведена значительная роль в реализации разделов государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 гг.» по соответствующим направлениям, в числе которых:

- разработка и производство радиоэлектронных средств и систем, в первую очередь средств и систем, имеющих стратегическое значение для страны, обеспечение их российской электронной компонентной базой необходимого технического уровня;
- разработка базовых промышленных технологий и конструкций радиоэлектронных компонентов и приборов;
- техническое перевооружение производства на основе передовых технологий;
- создание научно-технического задела по перспективным технологиям и конструкциям электронных компонентов, унифицированных узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры для обеспечения российской продукции и стратегически значимых систем.

Согласно Военной доктрине Российской Федерации к приоритетным задачам военного обеспечения относятся «разработка и производство уни-

фицированных высокоэффективных систем управления войсками и оружием, систем связи, разведки, стратегического предупреждения, радиоэлектронной борьбы, высокоточных мобильных безъядерных средств поражения, а также систем их информационного обеспечения». Номенклатура спецтехники, которую производят РЭП Омска в значительной мере отвечает этим приоритетным задачам. В ее составе:

- системы связи и автоматизированные системы боевого управления;
- системы радиоэлектронной разведки;
- системы и средства противовоздушной обороны;
- системы и средства ракетно-космической обороны;
- системы и средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ);
- системы и средства государственного опознавания, управления воздушным движением, радионавигации и единого времени;
- обеспечивающие системы и средства (специальная вычислительная техника, шифротехника, радиоизмерительная техника, авионика).

Предприятия РЭП Омска, специализирующиеся на разработке и производстве продукции гражданского назначения, о которых далее пойдет речь, как правило, являются лидерами в стране по своим направлениям деятельности.

Далее рассмотрим историю развития и специализацию предприятий омской радиоэлектроники.

10.1. ОСНОВНЫЕ ОМСКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ РЭП, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ОПК РОССИИ

10.1.1. АО «Омский НИИ приборостроения»

АО «ОНИИП» входит в состав холдинга «Росэлектроника» ГК «Российские технологии».

Создание в 1958 г. в Омске научно-исследовательского института средств связи было продиктовано необходимостью решения проблем обеспечения связи с подводными лодками и надводными кораблями ВМФ.

Первыми самостоятельными разработками для ВМФ стали коротковолновые (1,5–30 МГц) радиоприёмные устройства (РПУ) «Брусника-П» (Р-150) и «Перламутр». Эти РПУ были изделиями второго поколения (элементная база: электронные лампы и ПП-транзисторы). РПУ этого поколения были весьма тяжеловесными, масса РПУ «Брусника» составляла 250 кг.

На базе РПУ «Брусника» (рис. 10.1) был разработан автоматизированный СДВ-КВ приёмный комплекс «Базальт для комплектования атомных подводных лодок», в состав которого, кроме РПУ, входили аппаратура автоматизированного контроля исправности каналов связи и устройства программного управления ведением связи.

Базовым приемником следующего, третьего поколения (элементная база: транзисторы и микросхемы малой и средней степени интеграции) в 70–80-е годы стало РПУ для Сухопутных войск «Вспышка» (Р-160П) (рис. 10.1) (*главный конструктор В. Д. Богачев*). Масса РПУ третьего поколения составляла порядка 100 кг.

Унифицированными со «Вспышкой» РПУ для ВМФ стали изделия серии «Кашалот» СДВ- и КВ-диапазонов.

Первое изделие «Кашалот» КВ-диапазона (Р-683) (рис. 10.1) было смонтировано и успешно прошло испытания на первом в СССР противолодочном авианесущем крейсере «Киев». В дальнейшем этими изделиями были оснащены корабли того же класса «Минск», «Новороссийск», «Баку» и др.

На базе РПУ «Кашалот А», «Кашалот Г» (Р-684) было создано и передано в серийное производство комплексное многотрактовое радиоприёмное устройство «Гранит», которое входило в состав комплекса связи «Молния-М», предназначенного для оснащения подводных лодок.



Рис. 10.1. РПУ второго и третьего поколений

В конце 70-х годов отставание отечественной аппаратуры от зарубежных аналогов по массогабаритным параметрам, потребляемой мощности и надежности стало значительным.

В то время за рубежом в связи с широким использованием БИС, СБИС и микропроцессоров уже появились радиоприёмники четвертого поколения, в 3–4 раза меньшие по массе и габаритам и со значительно более совершенным интерактивным интерфейсом.

Особенно остро проблема неконкурентоспособности отечественных РПУ проявлялась в гражданских отраслях, где у потребителей была принципиальная возможность закупки зарубежных изделий. В 1986 г. Министерство судостроительной промышленности СССР (Минсудпром) заказало ОНИИП разработку радиоприёмника четвертого поколения, который планировалось использовать на гражданских и промысловых судах, а также морских узлах связи.

Минсудпром заказал ОКР четвертого поколения раньше военных заказчиков, что было необычным для того времени случаем, и, соответственно, первым получил новый профессиональный КВ-приёмник четвертого поколения высшего класса.

В 1986–1989 гг. коллективом разработчиков, конструкторов и технологов под руководством главного конструктора В. И. Левченко было создано базовое РПУ четвертого поколения «Бригантина» (рис. 10.2). При разработке была широко использована элементная база четвертого поколения: БИС, СБИС, микропроцессоры, микросборки, и впервые совместно с КБ Новосибирского завода полупроводниковых приборов были разработаны СБИС «система на кристалле», позволившие значительно уменьшить габариты цифрового синтезатора частот.

По тем временам появление РПУ «Бригантина» без преувеличения представляло собой качественный скачок в научно-техническом уровне не только в отношении самого изделия, но и предприятия ОНИИП в целом. На базе созданных технологий и базовой несущей конструкции (БНК) «Бригантины» впоследствии многие годы проектировались все изделия и комплексы связи ОНИИП.



Рис. 10.2. РПУ «Бригантина»

РПУ «Бригантина» полностью соответствовало мировому уровню. Масса модификаций изделий составляла 18–20 кг, а по параметрам реальной помехоустойчивости, как показывали отзывы с мест эксплуатации, приемник превосходил зарубежные аналоги.

В 1987–1990 гг. была проведена ОКР военной версии РПУ четвертого поколения «Артек-Гелиос» (Р-170П). Приемник «Артек-Гелиос» (рис. 10.3) отличался от «Бригантины» расширенным «вверх» диапазоном до 80 МГц и более жесткими условиями эксплуатации по температуре и механическим воздействиям.



Рис. 10.3. РПУ «Артек-Гелиос» (Р-170П)

РПУ «Артек-Гелиос» (Р-170П) благодаря высочайшим техническим характеристикам и проводимым модернизациям выпускается серийно в настоящее время, т. е. более 25 лет, что для радиоэлектронной продукции является уникальным явлением.

В это же время были разработаны модификации РПУ «Бригантина» для Министерства связи – «Панорама», для гражданской авиации – «Ель».

Для ВМФ на основе БНК «Бригантина» в начале 90-х годов были разработаны радиоприёмники четвертого поколения: многоканальные РПУ «Скаляр-ДСК» (Р-774ДСК), «Скаляр-ДС» (Р-774ДС), 4-канальное РПУ «Скаляр-О» (Р-774О), 24-канальное РПУ «Скаляр-С» (Р-774С), «Скаляр-СН1» (Р-774СН1).

Для Минобороны и СВР был разработан ряд приемников четвертого поколения «Ольхон-Гелиос», «Ольхон-Гелиос-М», «Ольхон-Гелиос-215», «Сердолик-ПРМ».

На современном этапе развития РПУ строятся не только на основе традиционной супергетеродинной структуры (с одним или двумя преобразованиями), но и по схеме с прямым аналого-цифровым преобразованием КВ-диапазона. Это позволяет в относительно компактной форме строить многоканальные радиоприемные модули. На рис. 10.4 приведен 128-канальный модуль.



Рис. 10.4. 128-канальное цифровое РПУ

Другим традиционным направлением разработок ОНИИП является производство *возбудительных устройств (ВУ)* для радиопередатчиков.

Для размещения на надводных кораблях и подводных лодках ВМФ были разработаны унифицированные с РПУ «Вспышка» возбудительные устройства третьего поколения «Маяк», «Маяк-КГ», которыми после 1985 г. были оснащены практически все корабельные РПДУ средней и большой мощности.

Четвертое поколение ВУ, унифицированное с РПУ «Артек-Гелиос», представлено возбудительным устройством КВ-, УКВ-диапазонов частот Р-170ВМ «Артек-Сириус» (главный конструктор Ю.С. Лузан) (рис. 10.5).



ВУ «Артек-Сириус»



ВУ «Артек-Сириус-М»

Рис. 10.5. Возбудительные устройства, унифицированные с РПУ

В 90-е и начале 2000-х гг. после создания аппаратных средств четвертого поколения на основе БНК «Бригантина» и проведения комплексных НИОКР «Ольхон» и «Ольхон-О» (главный конструктор В. И. Левченко) ОНИИП приступил к созданию мобильных узлов связи и управления.

Одновременно разрабатывались автоматизированные стационарные центры и узлы связи (главный конструктор В.Д. Богачев).

Созданные на основе научно-технического задела, полученного в НИОКР «Ольхон-О», мобильные многотрактовые аппаратные специальной связи (рис. 10.6) «ЧИЖ-2М», «Мореплавание – ОМ», «Краснобай»

(гл. конструктор Б. Г. Шадрин), наряду с разработками стационарных комплексов и узлов связи, послужили основой для финансовой устойчивости предприятий ОНИИП, «Иртыш», завода им. Н. Г. Козицкого в кризисные 90-е годы и начале 2000-х годов.



Рис. 10.6. Аппаратные мобильного узла связи

Приемные и передающие радиочастоты стационарного базирования обеспечивают обмен информацией в радиосетях и радионаправлениях на трассах протяженностью до 10 000 км.

Структура, состав и алгоритмы функционирования стационарных радиочастот и узлов связи на их основе адаптируются для заказчиков – Министерства обороны РФ, СВР, ФСБ.

Радиочастоты и узлы связи строятся на основе автоматических дистанционно управляемых средств радиосвязи и автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов (рис. 10.7), объединенных локальными вычислительными сетями в единую информационную структуру с перепрограммируемыми алгоритмами функционирования.



АРМ стационарного узла связи



АРМ комплекса связи ВМФ

Рис. 10.7. Автоматизированные рабочие места комплексов связи

С целью наращивания доли участия в составе создаваемых узлов и радиолиний связи ОНИИП с начала 90-х годов осваивает разработку радио-передающих устройств (РПДУ). Первое РПДУ «Байкал-А» успешно прошло государственные испытания в 1999 г.

Первым серийным передатчиком, разработанным на основе отечественных мощных транзисторов, явился 500-ваттный передатчик «Нерпа» (главный конструктор В. Н. Алексеенко).

Впоследствии были созданы передатчики на более высокие мощности – 1 кВт, 5 кВт (рис. 10.8). Ведутся исследования по созданию автоматизированных транзисторных РПДУ на 20 и более кВт (главный конструктор А. В. Богданов).



РПДУ КВ-диапазона Р-357НА (1 кВт)

РПДУ-М5 с выходной мощностью 5 кВт

Рис. 10.8. РПДУ ОНИИП

На основе РПУ, РПДУ и модемов ОНИИП разрабатывает помехозащищенные радиолинии различного назначения, работающие в диапазоне частот от сотен герц до сотен мегагерц, обеспечивая доведение информации и команд до подводных, подземных и наземных объектов. Наиболее распространенными видами радиолиний являются:

- малогабаритные комплексы радиоуправления;
- помехозащищенные радиолинии с псевдослучайной перестройкой частоты (ППРЧ) в широкой полосе;
- радиолинии для связи с глубоководными подводными лодками.

Наряду с военной ОНИИП разрабатывает и производит радиоэлектронные приборы и системы народно-хозяйственного назначения. В их числе:

- система радиоохраны «Форт» для трасс нефтегазопроводов;
- система для температурного и вибрационного контроля установок, применяемых в нефтегазовой и энергетической промышленности.

Высокие конкурентоспособные характеристики аппаратуры ОНИИП основаны на применении создаваемой институтом специализированной электронной компонентной базы по следующим направлениям:

- LC-фильтры;
- пьезоэлектрические фильтры;
- фильтры СВЧ-диапазона, выполненные на основе LTCC-технологии;
- кварцевые генераторы;
- фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ-фильтры);
- СБИС «система на кристалле».

10.1.2. АО «Омский приборостроительный завод им. Н.Г. Козицкого»

Омский приборостроительный завод им. Н. Г. Козицкого – старейшее электро- и радиотехническое предприятие страны. Основан в 1853 г. как петербургское отделение берлинской фирмы «Сименс и Гальске».

В 1904 г. заключив договор с изобретателем радио А. С. Поповым и фирмой «Телефункен», завод приступил к изготовлению аппаратов для телеграфии и радиосвязи.

В 1918 г. завод был национализирован и переименован в «Петроградский государственный телеграфный завод».

В 1922 г. по ходатайству коллектива заводу было присвоено имя Николая Григорьевича Козицкого – большевика, погибшего в боях гражданской войны.

В 1940 г., после советско-финской войны, за организацию производства и серийный выпуск миноискателей завод был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

Завод был эвакуирован в Омск 9 сентября 1941 г. и получил название «Омский приборостроительный ордена Трудового Красного Знамени завод имени Н. Г. Козицкого». Всего было эвакуировано 847 квалифициро-

ванных работников и 746 единиц оборудования. 28 ноября 1941 года из г. Горького прибыл цех пьезокварцевого производства во главе с начальником цеха Ф. М. Ильиным.

С февраля 1942 г. основными изделиями завода стали знаменитые танковые радиостанции «10 Р». Они устанавливались на все виды танков, включая Т-34.

Вторая половина 70-х гг. отмечена выпуском радиоприемных устройств третьего поколения «Вспышка», «Сибирь», «Призма», «Карат-М» и др.

В 90-е гг. завод осваивает производство изделий четвертого поколения – автоматизированного радиоприемного устройства «Бригантина». Выпускаются кварцевые генераторы «Гладиолус», «Соната», «Партер-М», высокочастотные резонаторы.

Сегодня основной продукцией предприятия являются:

- автоматизированные РПУ для военно-морского и торгового флота, министерства обороны, МВД и других ведомств в диапазонах частот от СДВ до УКВ;
- возбуждители, радиопередатчики КВ-, УКВ-диапазонов;
- абонентские радиостанции различного назначения;
- антенные коммутаторы;
- прецизионные кварцевые генераторы, фильтры и микросборки;
- электротехнические лаборатории (ЭТЛ) – мобильные лаборатории (на базе шасси автомобилей) для испытаний и поиска повреждений электрооборудования силовых кабелей до 10 кВ;
- устройства защиты бортовой сети (УЗБС) для карбюраторных и инжекторных автомобилей различного назначения.

10.1.3. АО «Омское производственное объединение «Иртыш»

Омское производственное объединение «Иртыш» вместе с ОНИИП и заводом им. Н. Г. Козицкого с 2015 г. входит в холдинговую компанию «Росэлектроника» госкорпорации «Ростехнологии». При этом ОНИИП является головной организацией этой интегрированной структуры.

История предприятия начинается с 1942 г., когда в Омск были эвакуированы завод «Эмальпосуда» из Ростова-на-Дону и «Новая Тула» из Тулы. Первое название объединенных предприятий было «Штамповщик».

В 1989 г. заводу присвоен статус ФГУП «Омское производственное объединение «Иртыш». В объединение входили: Омский телевизионный завод, тарский завод «Кварц», иськульский завод «Экран» и Черлакское производство.

В 2011 г. ФГУП «ОмПО «Иртыш» преобразовано в акционерное общество «Омское производственное объединение «Иртыш».

На предприятии имеется аккредитованный региональный испытательный центр.

Основная продукция предприятия:

- телевизионное приемо-передающее оборудование;
- специальные средства радиосвязи (разработчик – ОНИИП);
- приводные аэродромные радиостанции;
- оборудование для пищевой промышленности.

На базе предприятия создан Сибирский региональный испытательный центр (РИЦ) ОмПО «Иртыш».

РИЦ имеет более 400 единиц испытательного оборудования и может проводить сертифицированные испытания по следующим направлениям:

- по основным функциональным параметрам;
- на электроакустические показатели;
- по электромагнитной совместимости, на определение уровня помех, создаваемых другому оборудованию и др.;
- на стойкость к воздействию механических и климатических факторов;
- испытания на надёжность.

У центра есть возможность проводить испытания по техническим регламентам Таможенного союза. Аналогов Сибирскому региональному испытательному центру в регионе нет.

10.1.4. АО «Центральное конструкторское бюро автоматики» (ЦКБА)

Акционерное общество «ЦКБА» образовано 10 сентября 1949 г. с целью разработки радиолокационных прицелов для пушечных установок защиты задней полусферы самолетов.

ЦКБА, входящее в госкорпорацию «Тактическое ракетное вооружение», разрабатывает и изготавливает сложные наукоемкие радиоэлектронные управляющие системы и устройства автоматизированной контрольно-проверочной аппаратуры.

В 1950-е гг. определилось основное направление деятельности предприятия – пеленгация и пассивная радиолокация. Конструкторское бюро начало разработку самолетных радиопеленгаторов, а также головок самонаведения для ракет класса «воздух – РЛС».

ЦКБА является единственным в России разработчиком и производителем пассивных радиоэлектронных систем. Основная разрабатываемая и выпускаемая продукция:

- самолетные пассивные пеленгаторы («Курс-Н», «Филин», «Фантазмагория», «Этнография»);
- пассивные радиолокационные головки самонаведения (ПРГС-2ВП, ПРГС-4ВП, ПРГС-5ВП, ПРГС-6ВП, ПРК-15);
- бортовые комплексы управления («Метель», «Вьюга», «Прогресс», «Сыч», которые устанавливались на самолете Су-17 всех модификаций, МиГ-23, МиГ-27);
- станции предупреждения об облучении (СПО-3, СПО-15, Л-150);
- аппаратура непосредственной радиотехнической разведки (АНРТР);
- аппаратура управления и целеуказания;
- автоматизированная контрольно-проверочная аппаратура для наземного контроля выпускаемых изделий.

В планах предприятия предусмотрено проведение НИОКР и технологических работ по созданию головок самонаведения для ракет нового поколения, входящих в состав комплексов радиоэлектронной борьбы (РЭБ), размещаемых на самолетах поколения «4++».

Продукция ЦКБА гражданского назначения:

- вычислители расхода любых газов, в том числе сжиженных;
- тепловычислители с функциями учета расхода воды и пара;
- регистраторы температуры (РТ-1, РТ-2, РТ-3);
- термометры электронные (ТЭПС-1, 2, 3)
- измерители-сигнализаторы температуры (ИСТ);
- телевизионные передающие устройства «Радиус» для организации телевизионного вещания вне зоны уверенного приема телевизионного сигнала;
- ультразвуковые приборы медицинского назначения.

10.1.5. АО «Радиозавод им. А. С. Попова» (Релеро)

АО «Радиозавод им. А. С. Попова» является одним из учредителей Межгосударственной корпорации развития (МКР), целью которой является развитие научно-промышленной и высокотехнологичной кооперации в странах ОДКБ (Организации договора о коллективной безопасности).

Конструкторское бюро развития на базе радиозавода им. А. С. Попова в интересах МКР осуществляет:

- разработку новых стандартов и протоколов радиосвязи;
- развитие перспективных систем беспилотных летательных аппаратов, таких как БЛА самолетного, вертолетного и мишенного типов, конвертопланы, включая системы управления и мониторинга;
- исследование механизмов перевода традиционных сетей связи, теле- и радиовещания на цифровой формат;
- поиск инструментов интеграции различных операторов в целостные системы.

Основное внимание уделяется созданию открытой архитектуры универсальной мультисервисной платформы, построенной по модульно-функциональному принципу, позволяющему внедрять однотипное и унифицированное по конструктиву, идеологии и модулям оборудование на различных уровнях сетей связи с единой системой управления.

Современная продукция радиозавода им. А. С. Попова:

- комплексные аппаратные связи,
- подвижные цифровые радиорелейные станции,
- мобильные базовые станции сотовой связи для чрезвычайных ситуаций,
- газовые счетчики.

Начало своей истории радиозавод им. А. С. Попова отсчитывает с июля 1954 г., когда из цехов предприятия вышло первое серийное изделие – радиорелейная станция Р-401 «Ручей».

В 1959 г. радиозавод им. А. С. Попова выпускает первый омский телевизор «Заря».

1979 г. – начало производства радиорелейных станций «АЗИД», которые надолго стали базовой аппаратурой спецсвязи Вооруженных сил СССР.

В 1980 г. открыто серийное производство 24-канальной радиорелейной станции «ГРАЛ» для нужд нефтяной и газодобывающей промышленности в экстремальных условиях Западной Сибири и Заполярья.

С 1992 г. налажено серийное производство газовых счётчиков СГ-1 и СГ-2, по техническим характеристикам не имеющих аналогов в Европе. Эта разработка представляла промышленность России на Международной выставке Foir de Geneve в Швейцарии.

Выпускаемые в последние годы комплексные мобильные аппаратные связи КАС (рис. 10.9) предназначены для работы в составе опорных узлов связи оперативного звена управления Сухопутных войск ВС РФ.



Рис. 10.9. Комплексная мобильная аппаратная связи КАС

Подвижная цифровая радиорелейная станция Р-419Л1 предназначена для быстрого развертывания самостоятельных радиорелейных или кабельных линий связи, ответвления каналов от многоканальных радиорелейных, тропосферных и проводных линий связи, использования в качестве временной радиовставки на повреждённых или ремонтируемых кабельных линиях связи, организации видео-конференц-связи.

10.1.6. ПАО «Научно-производственное объединение Завод «Волна»

НПО Завод «Волна» входит в состав оборонно-промышленного сектора холдинговой компании «ЭГО-Холдинг» (г. Санкт-Петербург).

НПО Завод «Волна» имеет два филиала в городах с развитой радиоэлектронной промышленностью: в Воронеже и Омске.

Предприятие осуществляет разработку, серийный выпуск, модернизацию и ремонт средств и комплексов радиосвязи и радиоэлектронной борьбы, антенных систем и антенно-аппаратурных комплексов широкого диапазона волн для стационарных и мобильных объектов связи.

19 февраля 1933 г. – с этой даты идет отсчет истории Завода «Волна». Тогда он назывался «Государственный авторемонтный завод № 3».

В январе 1951 г. завод был перепрофилирован и получил статус «Государственного Союзного завода Министерства промышленности средств связи». Предприятие приступило к изготовлению аппаратно-студийных комплексов для телецентров страны и передвижных телевизионных станций.

В 1970 г. завод принимал участие в оснащении современной аппаратурой нового телекомплекса «Большая Москва» на Шаболовке, а также выполнял срочные заказы на поставку телеоборудования для телецентра «Останкино».

В 1984 г. завод освоил выпуск средств радиоэлектронной борьбы для Министерства обороны СССР.

В апреле 1985 г. предприятие было реорганизовано в Ленинградский завод «Волна».

Основные разработки и поставки НПО Завод «Волна» для нужд МО РФ:

- первая в мире мощная конфигурируемая твердотельная стационарная автоматическая радиопередающая система коротковолнового диапазона волн с адаптацией по выходной мощности от 5 до 20 кВт;
- автоматизированный передвижной комплекс радиоэлектронного подавления средств коротковолнового диапазона волн оперативно-тактического, оперативного и стратегического звеньев управления;
- автоматизированные станции помех коротковолнового диапазона волн тактического и оперативно-тактического звеньев управления;
- аппаратная управления и связи подсистемы радиоразведки наземными комплексами радиоэлектронного подавления средств коротковолнового диапазона волн;
- контейнерные модули для автономных полевых лагерей/городков закрытого цикла жизнеобеспечения (АПЛ-500).

В 2001 г. на предприятии создан научно-исследовательский центр (НИЦ), разрабатывающий широкий спектр техники связи и телекоммуникаций.

В 2005 г. предприятие было преобразовано в ПАО «НПО Завод «Волна».

Автоматизированная станция радиопомех Р-325У предназначена для радиоэлектронного подавления поверхностной или пространственной волной КВ-радиосвязи.

10.1.7. АО «Сатурн»

АО «Сатурн» входит в состав АО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей».

Основной вид деятельности АО «Сатурн» с момента создания в сентябре 1949 г. и по настоящее время – выпуск радиоэлектронной аппаратуры специального назначения.

С 1967 г. завод носил название Омский электротехнический завод имени Карла Маркса, а с ноября 1994 г. по результатам акционирования был переименован в ОАО «Сатурн».

Заводом освоено и внедрено в серийное производство более 30 наименований радиоэлектронной аппаратуры для зенитных ракетных комплексов (ЗРК), а также теплообменников для систем жидкостного охлаждения радиолокационных станций (РЛС) и другой наземной аппаратуры.

10.1.8. АО «Сибирские приборы и системы»

ОАО «Сибирские приборы и системы» входит в структуру Российского космического агентства.

История предприятия берет начало с марта 1959 г., когда были введены мощности Омского приборостроительного завода А142 для выпуска гироскопических приборов. В 1966 г. завод был переименован в Омский электромеханический завод, а в 1992 г. он получил название «Производственное объединение «Сибирские приборы и системы».

В 70–80-е гг. предприятие освоило и выпускало следующую продукцию:

- комплексы командных приборов систем управления баллистических и крылатых ракет, ракет-носителей многоразовой космической системы «Энергия – Буран» и др.;

- системы ориентации и стабилизации космических аппаратов;
- электронную аппаратуру систем боевого управления;
- гироскопические и электронные приборы управления для ракет наземного, авиационного и морского базирования, приборы и исполнительные механизмы для космических аппаратов.

Предприятие участвовало во многих престижных космических программах, таких как доставка лунного грунта со станции «Луна-16», «Космос», ГЛОНАСС, «Прогноз-2», «Энергия – Буран», «Экспресс», «Зенит – Союз», «Спектр», «ГАЛС», «Аркас», международная станция «Альфа» и др.

Наряду с выпуском отечественных приборов и систем управления для ракетно-космической техники на предприятии было организовано высокомеханизированное поточное производство и налажен массовый выпуск товаров народного потребления: электробытовых приборов (маслобойка, пылесос, магнитофон, электродрель и др.) и детских настольных игр (футбол, хоккей, баскетбол, железная дорога).

В настоящее время на предприятии изготавливаются электронные приборы систем управления для ракетно-космических комплексов, систем их электропитания, приборы цифровой электроники:

- приводы солнечных батарей для космических аппаратов,
- электромеханические приводы антенн,
- приводы систем радиолокации,
- электроприводы управления турбореактивными двигателями, а также систем вентиляции и электроснабжения.

Предприятие участвует в проекте «ГЛОНАСС».

В 2015 г. АО «Сибирские приборы и системы» освоило производство систем управления для морских торпед, которые раньше поставляло в Россию НПО «Киевский завод автоматики имени Г. И. Петровского». Кроме того, увеличились и объемы работ по российской космической программе. В частности, предприятие увеличило поставки комплектующих для ракеты-носителя «Союз».

Основные заказчики продукции предприятия: ФГУП НПО «ПМ имени академика М. Ф. Решетнева», НПО «Полус», НПО имени Лавочкина, НПО «Импульс», ЦНИИ «Комета», ОАО «Концерн Гранит-Электрон» и др.

10.2. ОСНОВНЫЕ ОМСКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ, НЕ ОТНОСЯЩИЕСЯ К ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОМУ КОМПЛЕКСУ

10.2.1. Научно-производственное объединение «МИР» (НПО «МИР»)

НПО «МИР» – один из лидирующих поставщиков технологий автоматизации энергосбережения в Сибири, на Дальнем Востоке и в Республике Казахстан.

За 25-летнюю историю НПО «МИР» реализовано более 300 крупнейших проектов на предприятиях различных отраслей.

Продукция предприятия: системы автоматизированного учета энергоресурсов, системы управления энергообъектами, измерительные приборы.

НПО «МИР» – дважды лауреат Премии Правительства РФ в области качества в 2008 и 2014 гг.

10.2.2. АО «Научно-производственное предприятие «Эталон»

АО «Научно-производственное предприятие «Эталон» специализируется на разработке и производстве технических средств измерения температуры и метрологического оборудования для их поверки.

В области изготовления образцовых мер ОАО «Эталон» является единственным производителем на территории бывшего СССР, а оптические меры вообще не имеют советско-российских аналогов.

Основная продукция предприятия:

- образцовые меры для настройки и поверки параметров и элементов радиоизмерительной и антенной техники, техники СВЧ в лабораторных и цеховых условиях;
- образцовые оптические меры малой длины (микронного диапазона), которые позволяли производить метрологическую аттестацию всех средств измерений, используемых в технологических процессах микроэлектроники, оптики и электронной оптики, приборостроении;
- измеритель магнитной восприимчивости слабомагнитных веществ для научных лабораторий, входного контроля веществ на присутствие ферромагнитных примесей;
- датчики температуры: эталонные и рабочие термодпары (преобразователи термоэлектрические) и термометры сопротивления;

- метрологическое оборудование для контактных и бесконтактных средств измерений температуры, теплофизических и линейно-угловых измерений;
- контрольно-измерительные приборы – индикаторы, измерители, регуляторы температуры;
- бесконтактные средства измерений – пирометры.

Предприятие располагает собственным специальным научно-исследовательским бюро, научно-исследовательским отделом, метрологической службой, службой маркетинга и другими подразделениями.

Предприятие имеет лицензию Федерального агентства по экологическому, технологическому и атомному надзору на осуществление деятельности по конструированию и изготовлению оборудования для атомных станций.

АО «Эталон» награждено золотой медалью за разработку и внедрение автоматизированной системы температурного мониторинга вечномерзлых грунтов с передачей данных по радиоканалу.

Предприятие получило благодарственное письмо от ФГУП «ГКНПЦ им М. В. Хруничева» за проделанную работу по выполнению задачи особой государственной важности по созданию космического ракетного комплекса «Ангара».

10.2.3. Научно-производственный центр «Динамика»

Научно-производственный центр «Диагностика, надежность машин и комплексная автоматизация» (НПЦ «Динамика») является национальным разработчиком, изготовителем и поставщиком стационарных, переносных и стендовых приборов и систем вибродиагностики, компьютерного мониторинга и автоматической диагностики состояния оборудования КОМПАКС, объединенных в единую диагностическую сеть предприятия, в совокупности составляющих автоматизированную систему управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования в реальном времени на всех этапах жизненного цикла.

В системах реализованы все основные виды неразрушающего контроля (НК), среди которых: вибродиагностика, акустическая эмиссия, электрический, оптический, вихретоковый, тепловой, ультразвуковой, акустический и другие методы НК. Это позволяет на единой программно-

аппаратной платформе осуществлять автоматическую диагностику и мониторинг технического состояния различных видов оборудования.

Продукция НПЦ «Динамика»:

- автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией и ремонтом оборудования;
- автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией и ремонтом оборудования моторвагонного подвижного состава;
- системы виброакустической диагностики для машиностроения.

В настоящее время продукция НПЦ «Динамика» с успехом эксплуатируется на 101 предприятии России, на сотнях производств ближнего и дальнего зарубежья. Системы диагностируют более 23400 отечественных и зарубежных машин и агрегатов свыше 2430 типов.

В 2014 г. НПЦ «Динамика» получил статусы «Высокоэффективная организация», «Финансово-устойчивая организация» и «Надежный поставщик».

Контрольные вопросы к теме 10

1. Основные предприятия оборонно-промышленного комплекса радиоэлектронной отрасли в г. Омске.
2. Основная специализация и продукция АО «Омский НИИ приборостроения».
3. Основная специализация и продукция АО «Омский приборостроительный завод им. Н. Г. Козицкого».
4. Основная специализация и продукция АО «ПО «Иртыш».
5. Основная специализация и продукция АО «Центральное конструкторское бюро «Автоматика».
6. Основная специализация и продукция АО «Радиозавод им. А. С. Попова».
7. Предприятия радиоэлектронной отрасли г. Омска, не относящиеся к оборонно-промышленному комплексу, и их специализация.
8. Основная специализация и продукция АО «Эталон».
9. Основная специализация и продукция ООО «МИР».
10. Основная специализация и продукция НПЦ «Динамика».

Список рекомендуемой литературы

1. Сайт ОНИИП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oniip.ru>.
2. Сайт ОПЗ им. Н. Г. Козицкого [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ziko55.ru>.
3. Сайт ОмПО «Иртыш» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.irtysh.com.ru>.
4. Сайт АО «ЦКБА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ckba.net>.
5. Сайт радиозавода им. А.С. Попова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.relero.ru>.
6. Сайт НПО Завод «Волна» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://volnaspb.ru>.
7. Сайт АО «Сатурн» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://old.saturn-omsk.ru>.
8. Сайт АО «Сибирские приборы и системы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sibpribor.ru>.
9. Сайт НПО «МИР» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mir-omsk.ru>.
10. Сайт АО «НПП «Эталон» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.omsketalon.ru>.
11. Сайт НПЦ «Динамика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dynamics.ru>.

Тема 11

ОСНОВЫ НАУЧНОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

11.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Научная деятельность – интеллектуальная творческая деятельность, направленная на получение и использование новых знаний. Основными ее формами являются фундаментальные и прикладные научные исследования.

Научно-техническая деятельность – интеллектуальная творческая деятельность, направленная на получение и использование новых знаний во всех отраслях техники и технологий.

Фундаментальные научные исследования – научная теоретическая и (или) экспериментальная деятельность, направленная на получение новых знаний о закономерностях развития природы, общества, человека, их взаимосвязи. Их результат – гипотезы, теории, методы и т. п. Значение фундаментальной науки определяется тем, что она выступает в качестве генератора идей, открывает пути в новые области техники. Фундаментальную науку иногда называют «чистой» наукой.

Прикладные научные исследования направлены на получение новых знаний с целью решения *конкретных практических задач*. Прикладные исследования определяют возможные пути использования результатов фундаментальных исследований, новые методы решения ранее сформулированных проблем.

Научно-исследовательская работа (НИР) – комплекс теоретических и (или) экспериментальных исследований, проводимых с целью получения обоснованных исходных данных, *изыскания принципов* и путей создания (модернизации) продукции. НИР направлены на изучение путей практического применения открытых в процессе фундаментальных исследований явлений и процессов. Они ставят своей целью решение технической проблемы, уточнение неясных теоретических вопросов, получение конкретных научных результатов, которые могут быть использованы в опытно-конструкторских работах (ОКР).

Опытно-конструкторская работа (ОКР) – комплекс работ, включающих в себя разработку конструкторской и технологической документации (КТД) на опытный образец изделия, изготовление и испытания

опытного образца (опытной партии образцов) изделия, выполняемых при создании (модернизации) изделия.

Работу по последовательному проведению НИР и ОКР называют **НИОКР**.

Заказчик – организация (предприятие, объединение, акционерное общество и т. п.), осуществляющая финансирование работ, по договору с которой выполняют НИР, ОКР (НИОКР) по созданию изделий и (или) постановку их на производство.

При выполнении НИР и ОКР по договору функции заказчика могут выполнять:

- государственный заказчик;
- изготовитель, предусматривающий выпуск изделий;
- разработчик аппаратуры;
- организация, которой поручено представлять интересы потребителя, в том числе иностранного.

Иновация (англ. innovation – нововведение, новшество, новаторство) – *использование новшеств* в виде новых технологий, видов продукции и услуг, новых форм организации производства и труда и других результатов интеллектуальной деятельности (РИД) с целью получения экономического, социального, экологического, научно-технического, потребительского или другого полезного результата.

В зависимости от степени новизны и научно-технической значимости к результатам интеллектуальной деятельности относятся:

– **научное открытие** – установление неизвестных ранее объективно существующих закономерностей, свойств и явлений материального мира, вносящих коренное изменение в уровень познания (научные открытия, гипотезы и научные идеи оказывают долговременное и часто революционное влияние на ход развития мировой науки и не всегда приводят к быстрому экономическому эффекту);

– **изобретение** – новое и обладающее существенным отличием «техническое» решение практической задачи, которое должно обладать *новизной* (не быть известным из существующего уровня техники), *изобретательским уровнем* (не быть очевидным исходя из текущего уровня знаний специалистов) и промышленной применимостью;

– **полезная модель** – менее значимое с точки зрения техники решение, касающееся *нового конструктивного выполнения* средств производ-

ства и предметов потребления, а также соотношения отдельных элементов изделия (машины, оборудования, инструмента и т. д.), обладающих новизной и полезностью;

– **промышленный образец** – новое художественно-конструктивное решение изделия, определяющее его оригинальное внешнее оформление и являющееся новым оригинальным и промышленно применимым;

– **ноу-хау (секрет производства)** – научные и технологические знания, производственный опыт, которые имеют потенциальную коммерческую ценность, в отношении которых их обладателем введен режим коммерческой тайны.

Инновацией может быть лишь новшество, обладающее такими свойствами, как:

- научно-техническая новизна для конкретного потребителя;
- производственная применимость;
- коммерческая реализуемость.

Понятия «новшество», «нововведение» и «инновация» следует различать.

Новшество – это собственно новый метод, изобретение, новое явление.

Нововведение – процесс использования новшества.

Инновация – это материализованный результат.

Интеллектуальная собственность – исключительное право физических или юридических лиц на результаты интеллектуальной деятельности, реализуемое в соответствии с действующим законодательством и контрактом на выполнение данных работ.

Наиболее часто используемые сокращения при проведении НИОКР:

- ТЗ – техническое задание;
- КД – конструкторская документация;
- ТД – технологическая документация;
- ЭД – эксплуатационная документация;
- ТУ – технические условия.

11.2. Порядок выполнения и этапы НИР

Приведенные в данном пункте сведения необходимы студентам для того, чтобы использовать их при выполнении курсовых работ (КР) и выпускных квалификационных работ (ВКР), а также при проведении научных исследований в процессе научно-исследовательской работы студен-

тов (НИРС), поскольку НИР, выполняемые в научных организациях, и указанные виды работ студентов обладают сходством.

НИР и ОКР обычно выполняют поэтапно. Окончание этапов НИОКР, выполняемых по договору, оформляют двусторонним актом (исполнитель – заказчик), что является основанием для оплаты работ на этих этапах.

Основным исходным документом для выполнения НИР или ОКР являются ТЗ на НИР, ТЗ на ОКР или ТЗ на НИОКР.

Процесс выполнения НИР в общем случае состоит из следующих этапов:

1. Выбор направления исследований.

В состав работ, проводимых на данном этапе, входят:

- изучение и анализ отечественных и зарубежных источников информации по исследуемой проблеме, обобщение полученных данных;
- исследования, необходимые для выбора направления работы;
- патентные исследования;
- выбор направления работы и его технико-экономическое обоснование.

2. Теоретические и экспериментальные исследования. Их проводят с целью получения достаточных теоретических и достоверных экспериментальных результатов исследований для решения поставленных перед НИР задач.

3. Обобщение и оценка результатов исследований, выпуск отчетной научно-технической документации по НИР. Эти работы проводят с целью оценки эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем (в том числе оценки создания конкурентоспособных продукции и услуг).

4. Предъявление работы к приемке и ее приемка.

Для оценки результатов НИР комиссия проводит анализ качества технических решений и проверку соответствия результатов работы требованиям, установленным в ТЗ.

Для экспериментальной проверки возможности создания образца продукции и определения его технических характеристик, проверки правильности результатов теоретических исследований и выбора оптимального технического и конструкторско-технологического решения и в процессе выполнения НИР при необходимости создают макеты, модели, экспериментальные образцы.

На всех этапах НИР проводят патентные исследования.

11.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И ЭТАПЫ ОКР

Устанавливают следующие этапы выполнения ОКР:

- 1) разработка ТЗ,
- 2) разработка эскизного проекта.

В состав работ, проводимых на данном этапе, включают:

- выбор направления разработки и его обоснование на основе анализа передового отечественного и зарубежного опыта в области проектирования; анализ опыта проектирования изделий-аналогов и др.;

- макетирование наиболее сложных и ответственных частей изделия (или изделия в целом) в объеме, необходимом для оценки правильности намеченных решений;

- расчетные или экспериментальные работы, подтверждающие правильность выбора конструктивно-технологических решений;

- выбор основных материалов, необходимых для разработки изделия;
- проведение патентных исследований;

- 3) разработка технического проекта.

В состав работ, проводимых на данном этапе, включают:

- необходимые расчетные и экспериментальные работы для проверки обоснованности оптимальных конструктивно-технологических решений;

- разработку КД и ТД на изделие в объеме, необходимом для изготовления макетов;

- изготовление и испытание макетов;
- проведение патентных исследований;

- 4) разработка рабочей КД, ТД и проекта технических условий (ТУ); изготовление опытных образцов, проведение предварительных испытаний.

В состав работ, проводимых на данном этапе, включают:

- разработку рабочей КД и ТД;

- разработку проекта ТУ;

- передачу изготовителю КД и ТД и при необходимости специального технологического оборудования, оснастки, средств испытаний и измерений;

- изготовление опытных образцов (опытной партии);

- проведение предварительных испытаний опытных образцов в целях оценки их соответствия требованиям технического задания на опытно-

конструкторскую работу и определения возможности предъявления на приемочные испытания;

- корректировку рабочей КД и ТД по результатам изготовления и предварительных испытаний с присвоением документации литеры «О»;
- составление научно-технического отчета, отчета о патентных исследованиях;
- предъявление ОКР к приемке;

5) приемка ОКР. Приемочные (государственные) испытания.

Приемочные испытания проводятся заказчиком при участии разработчика и завода-изготовителя. Целями этапа проведения приемочных (государственных) испытаний опытного образца являются:

- подтверждение соответствия технических и эксплуатационных характеристик опытного образца требованиям ТЗ на выполнение ОКР;
- при необходимости доработка конструкторско-технологической документации по замечаниям и рекомендациям заказчика;
- выдача рекомендаций о возможности принятия изделия на вооружение (снабжение, в эксплуатацию);
- выдача заключения о готовности разработанной документации к развертыванию производства для поставки изделия заказчику.

Документации присваивается литера «О1».

ОКР считают законченной после утверждения акта приемки ОКР и ТУ.

В зависимости от характера и сложности ОКР, степени предварительной проработки темы этапы могут быть разделены или объединены, их содержание уточнено, а также исключен этап «Разработка эскизного проекта» (например, в случае, если данной ОКР предшествовала НИР при модернизации изделий).

На всех этапах разработки радиоэлектронной аппаратуры работают коллективы, в состав которых входят инженеры – системотехники, схемотехники, программисты, конструкторы, технологи. От них в равной степени зависят качество и конкурентоспособность изделий.

11.4. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ДОКУМЕНТАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НИОКР

Организация НИОКР базируется на следующих межотраслевых системах документации:

- Государственная система стандартизации (ГСС);

- Единая система конструкторской документации (ЕСКД);
- Единая система технологической документации (ЕСТД);
- Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП);
- Система разработки и постановки продукции в производство (СРПП);
- Государственная система качества продукции;
- Государственная система «Надежность в технике»;
- Система стандартов безопасности труда (ССБТ) и др.

Результаты НИОКР оформляются в соответствии с требованиями вышеперечисленных стандартов.

11.5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ (ПРОИЗВОДСТВО) ИЗДЕЛИЙ

Этот этап является конечной целью НИОКР и является заключительным этапом научно-производственного цикла. Изготовление изделий может быть индивидуальным, мелкосерийным, серийным и массовым в зависимости от общего числа изделий.

Схема основных стадий освоения и изготовления изделий приведена на рис. 11.1.



Рис. 11.1. Стадии освоения и изготовления изделий

Подготовка конструкторской документации (первая стадия) заключается в следующем. Современные радиотехнические изделия достаточно сложны, чтобы только по одним схемам и чертежам можно было наладить производство. На основании КД отдел снабжения предприятия обеспечивает приобретение необходимых материалов и покупных комплектующих изделий (ПКИ). Для каждого рабочего места готовится необходимый, присущий только ему, комплект рабочей конструкторской документации (чертежи деталей, сборочные чертежи, инструкции и т. п.).

Технологическая подготовка производства (вторая стадия). КД дает четкие и однозначные указания о том, *что* необходимо изготовить, но не говорит, *как* это сделать. Инженеры-технологи предприятия, хорошо знающие особенности изделия, оборудование предприятия и смежные дисциплины технологического процесса (теорию допусков, теорию материалов и др.), разрабатывают *технологическую документацию*, содержащую полную информацию о *порядке* изготовления изделия и описание необходимых *технологических процессов*. При технологической подготовке производства производится *разработка и изготовление оснастки*. Это дополнительные (вспомогательные) устройства, учитывающие специфику изготовления конкретного изделия и возможности имеющегося оборудования. Оснастка «согласует» изделие и его составные части с универсальным оборудованием.

При разработке оснастки открываются широкие возможности для творческой деятельности конструкторов, технологов и изобретателей.

Освоение процесса производства изделия – завершающая стадия. Даже при тщательно подготовленной конструкторской и технологической документации изготовление нового изделия сопряжено с трудностями. Поэтому период освоения процесса изготовления неизбежен, при этом вносятся коррективы в документацию, технологический цикл или оснастку.

Итогом научно-производственного цикла является серийное производство изделий и поставка их потребителям. На всех стадиях производства осуществляется **технический контроль** деталей, составных частей, продукции в целом и технологических процессов.

Контрольные вопросы к теме 11

1. Назовите цели фундаментальных и прикладных научных исследований.
2. Какие виды оформления результатов интеллектуальной деятельности в технической сфере вы знаете?
3. Основные этапы НИР.
4. Основные этапы ОКР.
5. Цель эскизного проекта ОКР.
6. Цель технического проекта ОКР.
7. Цель этапа ОКР «Разработка и изготовление опытного образца».

8. Чем завершаются приемочные (государственные) испытания изделия?

9. Назовите основные стадии освоения производства изделия.

Список рекомендуемой литературы

1. Грибов, В. Д. Инновационный менеджмент : учеб. пособие / В. Д. Грибов, Л. П. Никитина. – М. : ИНФРА-М, 2013. – 311 с. – (Высшее образование).

2. ГОСТ 15.101–98. Порядок выполнения научно-исследовательских работ. – М. : ИПК «Издательство стандартов», 2003. – 11 с.

3. СТО ОмГТУ 73.01–2012. Порядок выполнения ОКР [Электронный ресурс]. – Омск : ОмГТУ, 2012. – Режим доступа: http://www.omgtu.ru/educational_activities/dokumenty_smk/standards/STO_OmGTU_73.04-2012.pdf (дата обращения: 22.05.2017 г.).

4. ГОСТ Р 15.201–2000. Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. – М. : ИПК «Издательство стандартов», 2001. – 10 с.

5. ГОСТ Р 53736–2009. Изделия электронной техники. Порядок создания и постановки на производство. – М. : ФГУП «СТАНДАРТИН-ФОРМ», 2010. – 54 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие человеческой цивилизации, которое можно определить термином «движение к совершенству», тесно связано с радиоэлектроникой и электронным приборостроением. Бурное развитие этих технологий, сопровождающееся периодическими революционными прорывами, затрудняет предвидение того, как конкретно в будущем будут выглядеть соответствующие системы и устройства, как изменится окружающая человека техносфера под их влиянием. Однако ясно, что тенденции их развития связаны с дальнейшим повышением скорости и надежности передачи информации, интеллектуализацией систем и сетей связи, освобождением человека от рутинных операций в производственной сфере и повседневной жизни. На сегодняшний день эти тенденции проявляются в форме появления и развития мощных сетей передачи информации, высокоскоростных мобильных линий информационного обмена, беспилотных транспортных средств и вооружений, полностью автоматизированных «безлюдных» производств и т. д., которые и определяют главные направления научно-технического прогресса.

В конспекте лекций рассмотрены основные аспекты вхождения будущих бакалавров и специалистов различных областей радиоэлектроники и приборостроения в круг проблем и задач, связанных с их будущей деятельностью.