

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт -
филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)**

Дисциплина: «Введение в специальность»

Курс лекций (часть 2)
дополненный и переработанный

*Учебное текстовое электронное издание
локального распространения*

Разработал: Заведующий кафедрой «Специальное приборостроение»,

д.т.н. В.Н. Морозов

Саров, 2025 г.

ЛЕКЦИЯ 5

Тема 4. ИСТОРИЯ РАДИОСВЯЗИ

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 (рисунок 5.1). До начала XX в. термин «радио» как средство связи еще не применялся. Использовались другие, в частности «беспроволочная телеграфия», «сигнализация без проводов» и т. п.

Начальные этапы в истории изобретения радио были рассмотрены в лекциях об истории физики.

Основные события:

1 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.

2 Колебательный контур. В 1853 г. английский физик *Уильям Томсон (лорд Кельвин)* 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.

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

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

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

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 волны 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.

5 Вибратор Герца. Немецкий физик *Генрих Герц* продемонстрировал, что радиоизлучение обладает всеми свойствами волн, которые стали называть *радиоволнами*. Он 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.

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

Подробнее рассмотрим **изобретения А.С. Попова, Г. Маркони и Н. Теслы.**

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.

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.

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».

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».

Изобретение Н. Теслы

Одним из изобретателей радио можно также считать сербского ученого-электротехника *Николу 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 передаёт радиосигналы на расстояние 30 миль. В приемнике Н. Тесла 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).

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.



Рисунок 5.1

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 (рисунок 5.2). 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.

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. Результаты его работ в области передачи информации по каналам связи стали основой многочисленных исследований по всему миру.



Рисунок 5.2

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

Система связи – совокупность технических средств, предназначенных 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 (рисунок 5.3).

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).

Передачик 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 волны в герцах (герц – частота, при которой происходит одно колебание в секунду).

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

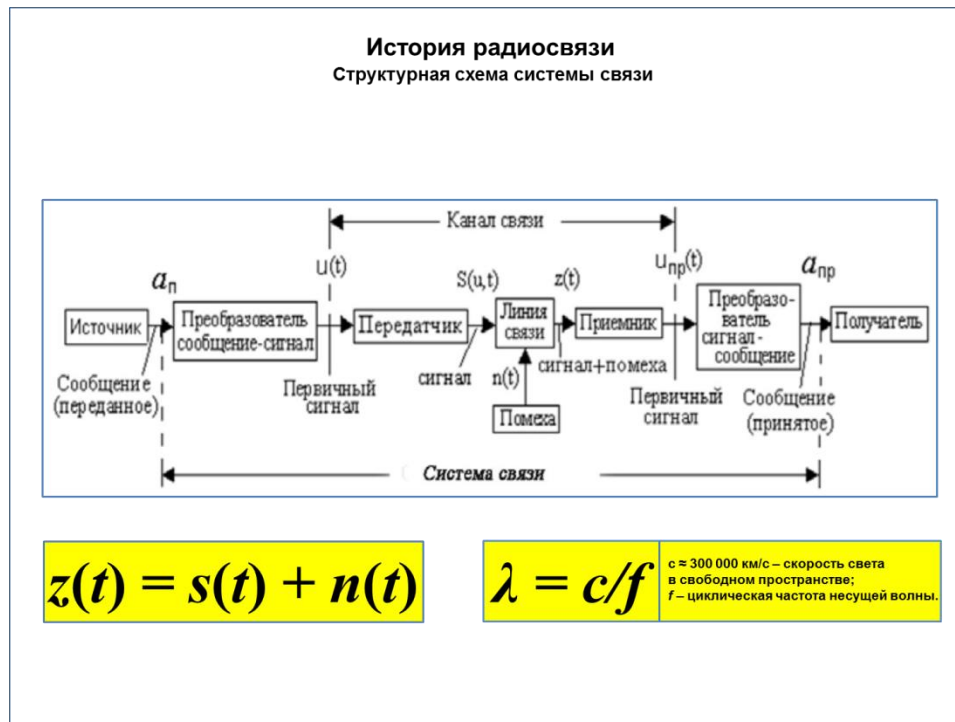


Рисунок 5.3

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» (рисунок 5.4). Исторически такие системы связи появились первыми. Они использовали такое свойство дальнего распространения радиоволн от крайне низких частот до декаметровых (коротких) волн, как распространение в «волноводе» между поверхностью Земли и ионосферой (ионизированный под воздействием Солнца слой земной атмосферы).

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 в километрах

между двумя мачтами антенн с высотами h_1 и h_2 (в метрах) можно вычислить по формуле.

$$D = 3,57 \cdot \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}$$

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

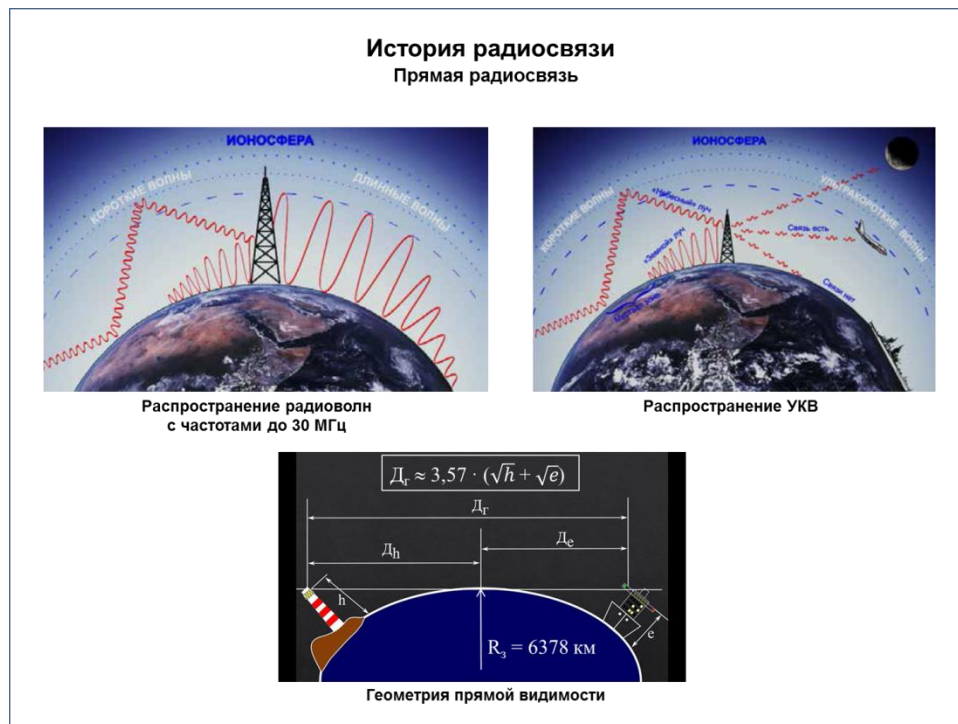


Рисунок 5.4

Радиосвязь с ретрансляцией сигнала

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 (рисунок 5.5).

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.

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.

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



Рисунок 5.5

2 Спутниковые телекоммуникационные системы (рисунки 5.6-5.9)

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.



Рисунок 5.6

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

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.



Рисунок 5.7

Орбиты, на которых размещаются спутниковые ретрансляторы, подразделяют на три класса: экваториальные, наклонные, полярные.

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.

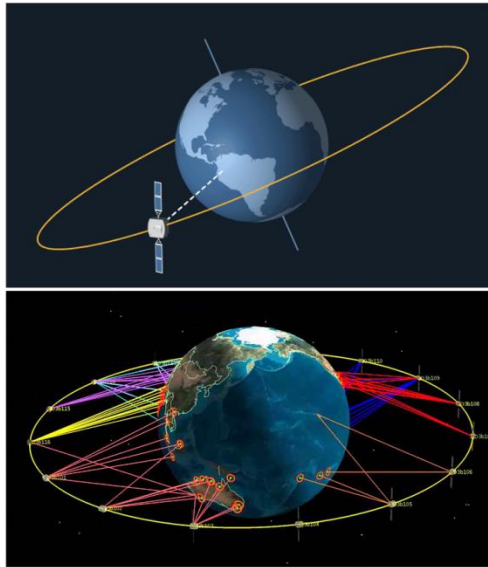
Наклонная орбита позволяет решить эти проблемы, однако из-за перемещения спутника относительно наземного наблюдателя необходимо запускать не меньше трёх спутников на одну орбиту, чтобы обеспечить круглосуточный доступ к связи.

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.



Рисунок 5.8

История радиосвязи
Радиосвязь с ретрансляцией сигнала
2 Спутниковые телекоммуникационные системы



Спутники связи на геостационарной орбите

Рисунок 5.9

ЛЕКЦИЯ 6

Тема 5. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

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.

Направление технической электроники, связанное с применением электронных приборов и устройств в различных отраслях промышленности и обеспечением этих отраслей электронными устройствами измерения, контроля, управления, преобразования электрической энергии, а также электронными технологическими установками является *промышленной электроникой*.

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

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

Известно, что многие проблемы в радиотехнике привели к изобретению новых и совершенствованию действующих электронных приборов.

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.

Первый этап электроники: пассивные компоненты

Первый этап начался в конце XIX века с изобретением радио. Об этом говорилось ранее.

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 некоторые 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 (рисунок 6.1).

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

$$I = U/R.$$

В свою очередь,

$$U = I \cdot R \text{ и } R = U/I.$$

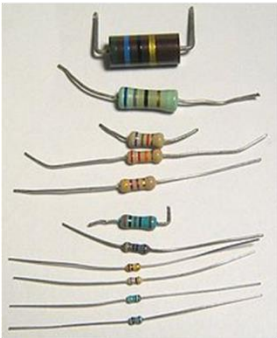
Мощность, выделяемая на резисторе:

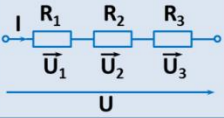
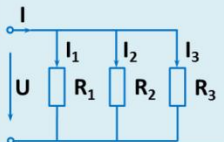
$$P = U \cdot I = U^2/R = I^2 \cdot R.$$

При отсутствии резистора необходимого номинала R его можно заменить, соединив имеющиеся резисторы R_1 и R_2 последовательно либо параллельно, как показано на слайде.

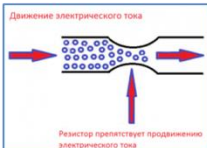
По возможности регулировки сопротивления резисторы подразделяют на *постоянные*, *подстроечные* и *переменные*. У постоянных резисторов сопротивление неизменно. У подстроечных резисторов сопротивление можно некоторое число раз изменить, после чего наступит физический износ деталей. Подстройка производится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

История развития электроники
Первый этап развития электроники: пассивные компоненты
Резисторы



Соединение	Схема	Эквивалентное сопротивление
Последовательное		$R_3 = R_1 + R_2 + R_3$
Параллельное		$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$

Схемы соединения резисторов



Схема, объясняющая работу резистора



Устройство переменного резистора



Подстроечные резисторы

Постоянные резисторы разных размеров, типов, мощности

$$I = U/R$$

$$R = U/I$$

$$U = I \cdot R$$

$$P = U \cdot I = U^2/R = I^2 \cdot R$$

Рисунок 6.1

Конденсатор – устройство для накопления заряда и энергии электрического поля (рисунок 6.2).

Основные характеристики и параметры конденсаторов:

1. Ёмкость – способность конденсатора накапливать электрический заряд;

Ёмкость конденсатора зависит от:

- площади обкладок (S);
 - расстояния между ними (d);
 - диэлектрической проницаемости материала диэлектрика между обкладками (ϵ).
2. 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;
3. полярность. Многие конденсаторы с оксидным диэлектриком (электролитические) функционируют только при определенной полярности напряжения из-за химических особенностей взаимодействия электролита с диэлектриком.

При отсутствии конденсатора необходимого номинала C его можно заменить, соединив имеющиеся конденсаторы C_1 и C_2 последовательно.

Заряд конденсатора. В момент подключения к источнику постоянного тока через конденсатор начинает протекать ток заряда. Он убывает по мере зарядки конденсатора и в итоге падает до величины тока саморазряда, определяющегося проводимостью материала диэлектрика. Напряжение на конденсаторе плавно нарастает от нуля до напряжения источника питания.

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 :

Разряд конденсатора. Если к заряженному конденсатору подключить сопротивление нагрузки, то ток через нее вначале будет максимальным, затем плавно упадет до нуля. Напряжение на его обкладках тоже будет изменяться по экспоненциальному закону.



Рисунок 6.2

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 (рисунок 6.3). Магнитопроводы из ферромагнетиков задействуют для увеличения индуктивности катушек, а из диамагнетиков — для ее уменьшения. Обмотки катушек индуктивности выполняют проводами круглого или прямоугольного сечения.

Индуктивность — коэффициент пропорциональности между электрическим током, текущим в замкнутом контуре, и магнитным потоком, создаваемым этим током:

$$\Phi = L \cdot I,$$

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

Сопротивление индуктивности переменному току:

$$X_L = 2\pi f L.$$

Параллельное или последовательное соединение индуктивности и конденсатора образует 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 резонансной частоте в Q раз меньше сопротивления конденсатора или индуктивности. Это также может быть использовано для целей селекции сигналов:

Значение резонансной частоты определяется по формуле Томпсона:

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

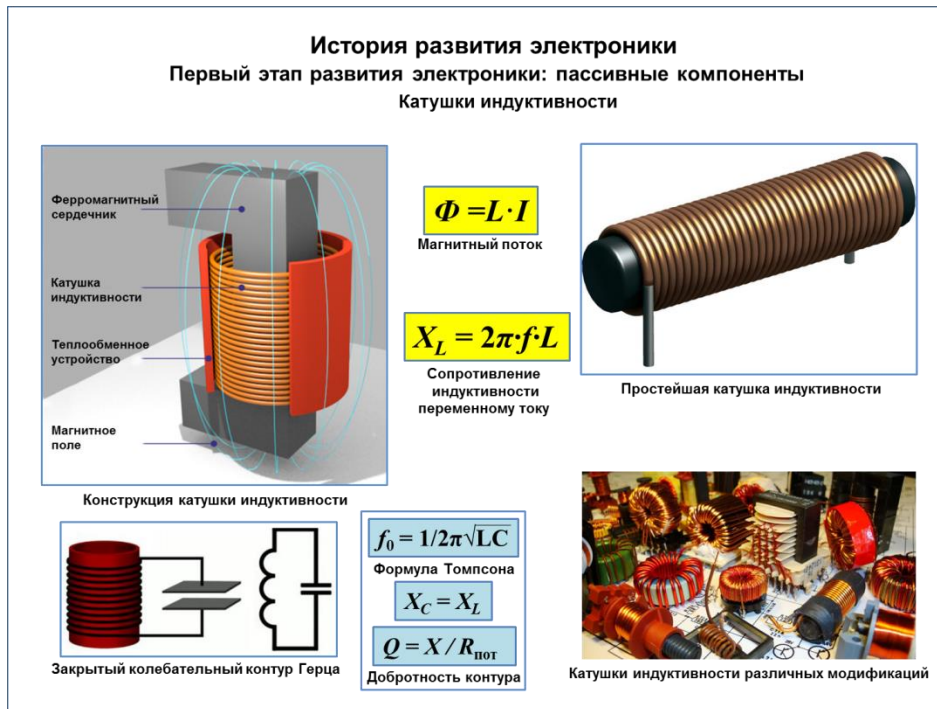


Рисунок 6.3

Две или более связанных между собой магнитным полем индуктивности образуют *трансформатор* (рисунок 6.4).

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.



Рисунок 6.4

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 (рисунок 6.5).

На слайде 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_{n_i} , которое тем больше, чем сильнее разогрет катод *K*.

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

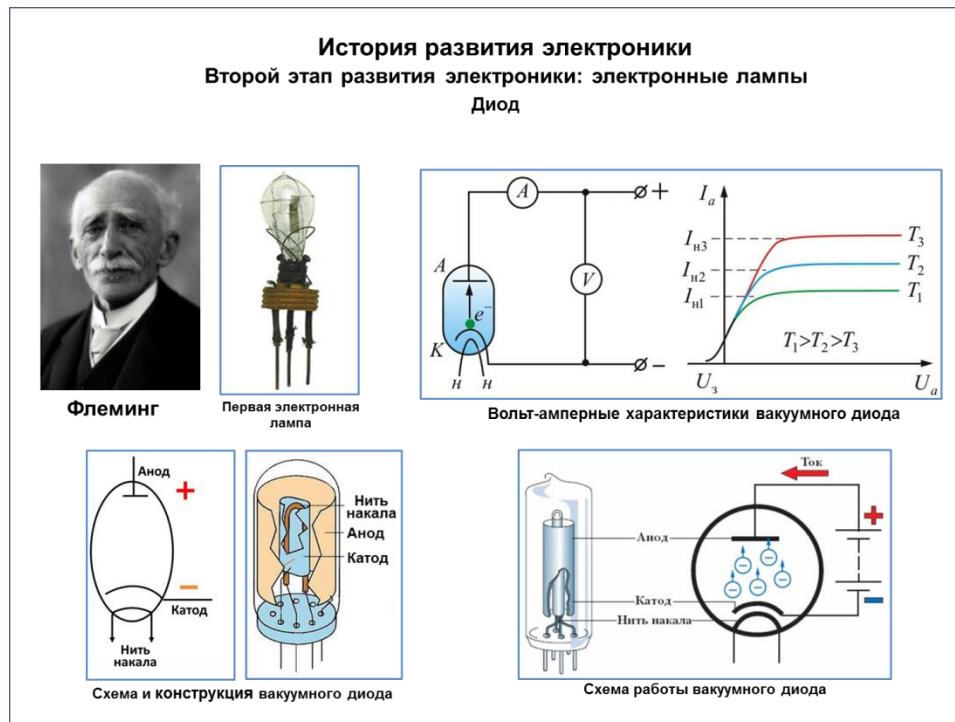


Рисунок 6.5

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 (рисунок 6.6).

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

На слайде приведена 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.



Рисунок 6.6

Проблема усиления была решена путем создания многоэлектродных ламп – тетродов (рисунок 6.7)

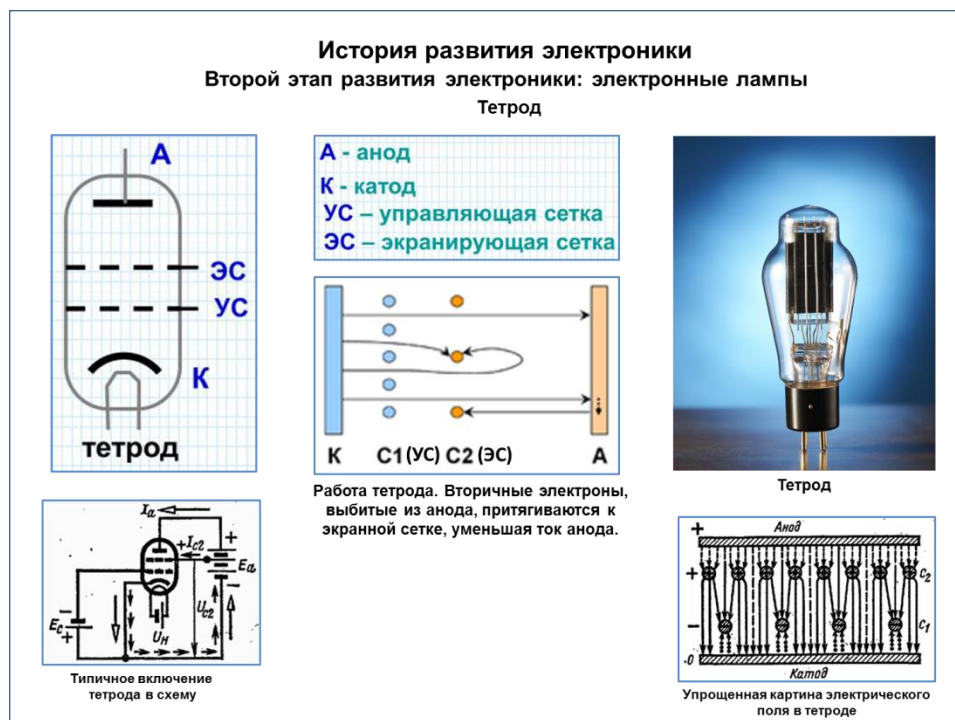


Рисунок 6.7

и пентодов (рисунок 6.8).

Электронные лампы используются и в настоящее время. Прежде всего, их область применения – мощные усилители радиопередающих устройств.

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.



Рисунок 6.8

Третий этап развития электроники: транзисторы

Третий этап начался в 1947 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 (рисунок 6.9).

Транзистор в большей степени, чем какой-либо другой электронный прибор, обязан своим происхождением научной теории, а не технологическим разработкам.

Биполярный транзистор 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_b , 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.

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.

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.

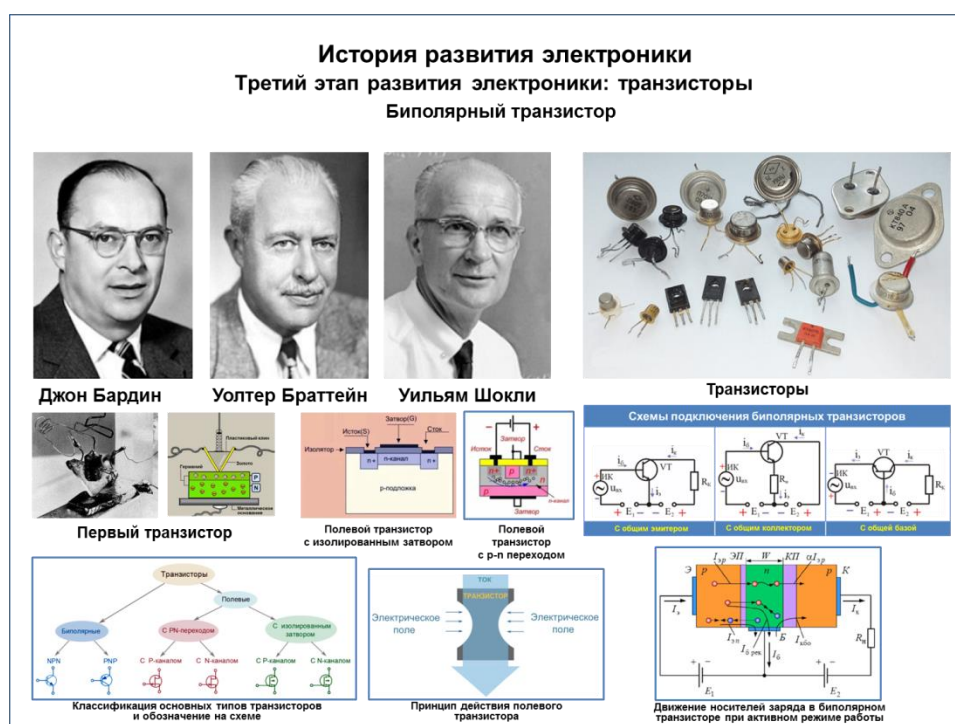


Рисунок 6.9

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 микронов 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 невозможен 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. (рисунок 6.10) 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, выжиганием, фотолитографической* или иной обработкой. Варианты конструкций пленочных ИС приведены на слайде.



Рисунок 6.10

Пятый этап развития электроники: функциональная электроника

Если в интегральных микросхемах объединяется большое количество элементов, то в изделиях функциональной электроники интегрируются элементы, реализующие акустические, магнитные, оптические, термоэлектрические и другие объемные 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 рисунке 6.11.

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.

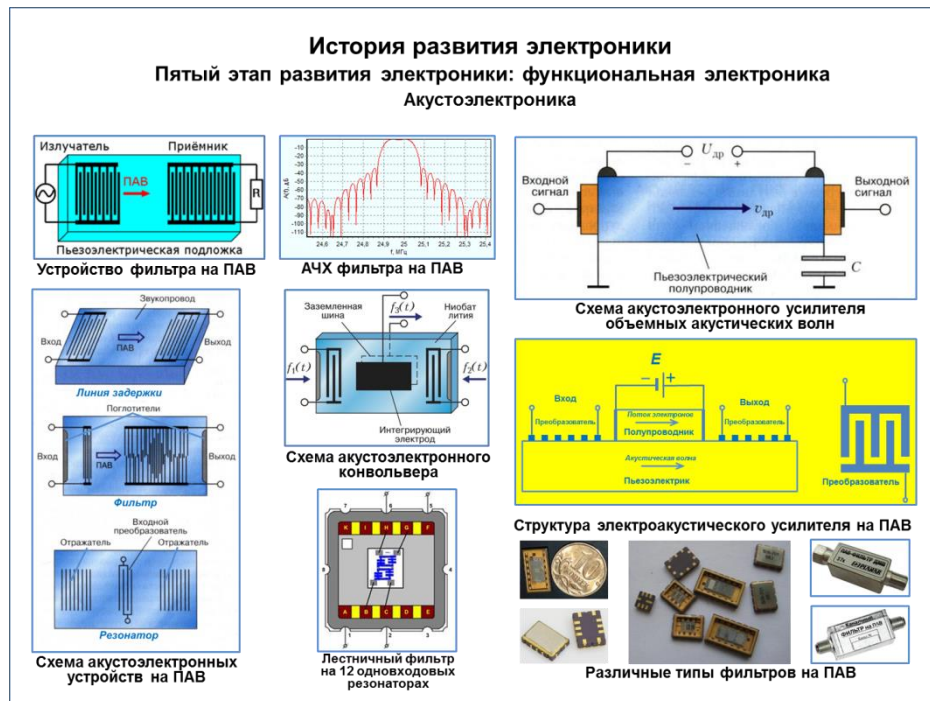


Рисунок 6.11

Очень важным направлением функциональной электроники является техника *кварцевой стабилизации частот*. Без высокостабильных кварцевых генераторов не может функционировать ни одно средство связи (рисунок 6.12).

Благодаря развитию микроэлектроники и инновационным решениям массогабаритные характеристики кварцевых генераторов за последние десятилетия многократно уменьшились.

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.



Рисунок 6.12

Нанoeлектроника – современный этап развития электроники

К концу XX в. можно отнести шестой этап развития электроники под названием *нанoeлектроника*.

Приставка «нано» означает одну миллиардную часть. Термины «нано-метр», «наночастицы», «наноструктуры», «наноматериалы» и «нанотехнологии» распространились в научной литературе.

Термин «нанoeлектроника» пришел на смену традиционному термину «микроэлектроника».

Нанoeлектроника связана с разработкой архитектур и технологий производства функциональных устройств электроники с топологическими размерами элементов на порядки меньше – от 1 до 100 нм.

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 нано-трубок и фуллеренов, но и используют новые методические подходы и разработки, служащие для создания, измерения и анализа параметров наноструктурных объектов (рисунок 6.13).

Нанотрубка представляет собой цилиндрическую структуру 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.

Графен – двумерный кристаллический углеродный наноматериал, который можно представить как пластину, состоящую из одного слоя атомов углерода. 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 изгиб.

В настоящее время графен получают путем отшелушивания чешуек от частиц графита, однако существуют разработки, позволяющие получать данный материал в промышленных масштабах.

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.

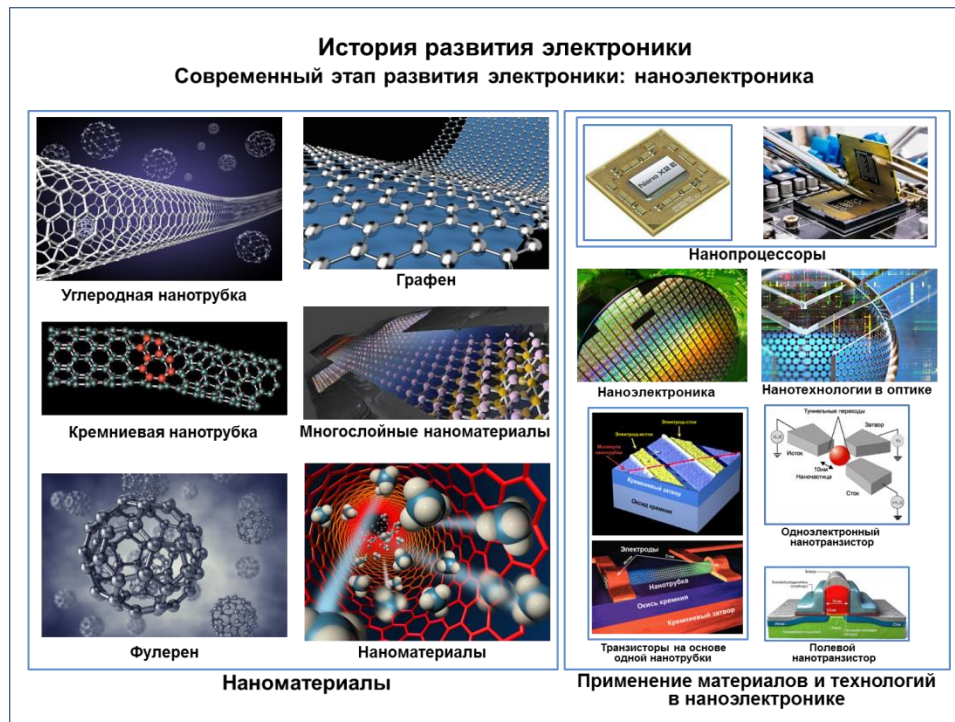


Рисунок 6.13

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.

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.

Системы на кристалле (рисунок 6.14).

Успехи в полупроводниковой технологии интегральных микросхем сделали возможным объединение на кристалле СБИС нескольких программируемых блоков, образующих функционально законченную систему. Такая СБИС получила название «система на кристалле» (СнК). 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.

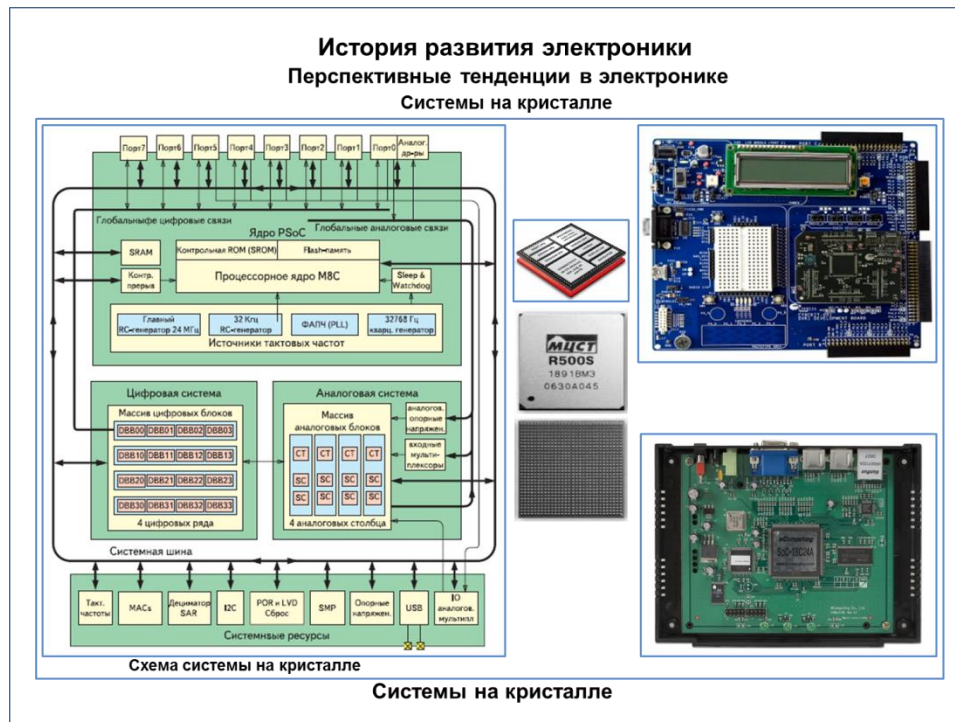


Рисунок 6.14

Системы в корпусе (рисунок 6.15).

Система в корпусе (System in Package, SiP) – это комбинация нескольких активных электронных компонентов различной функциональности, собранная в единый модуль, 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, надежнее и дешевле.

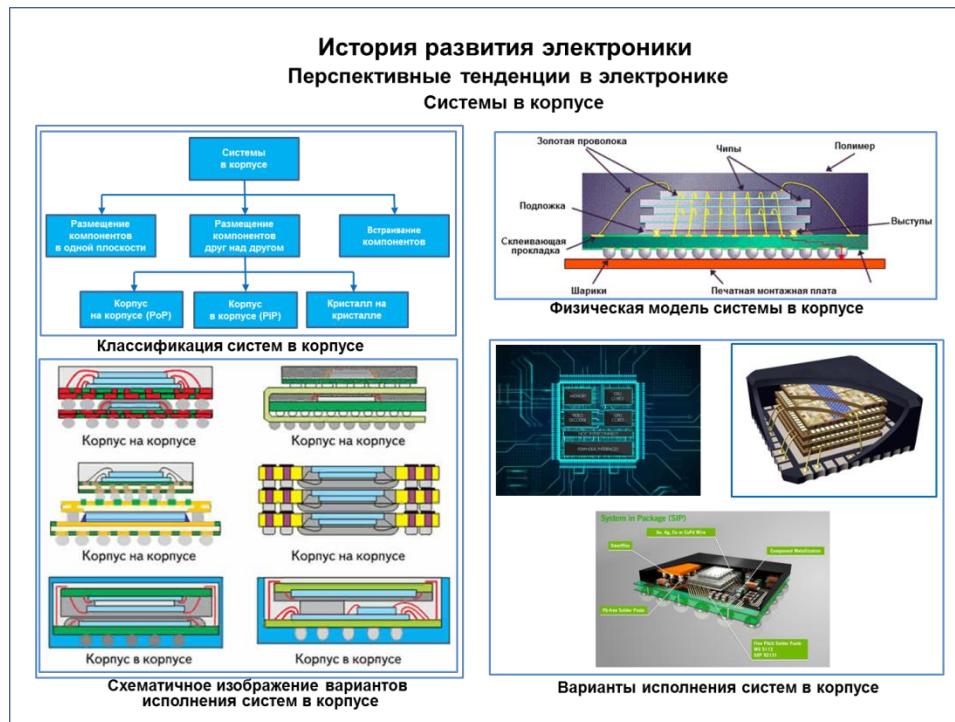


Рисунок 6.15

3D-интеграция (рисунок 6.16).

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.

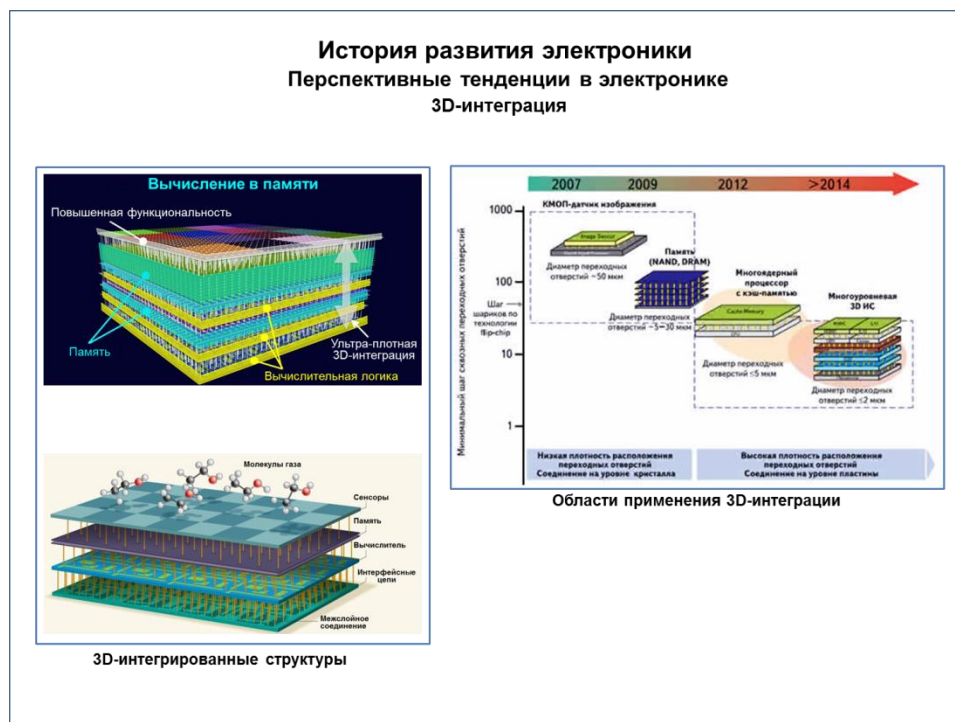


Рисунок 6.16

Печатные платы со встроенными компонентами (рисунок 6.17).

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.



Рисунок 6.17

Микроэлектромеханические системы (МЭМС (рисунок 6.18)).

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.

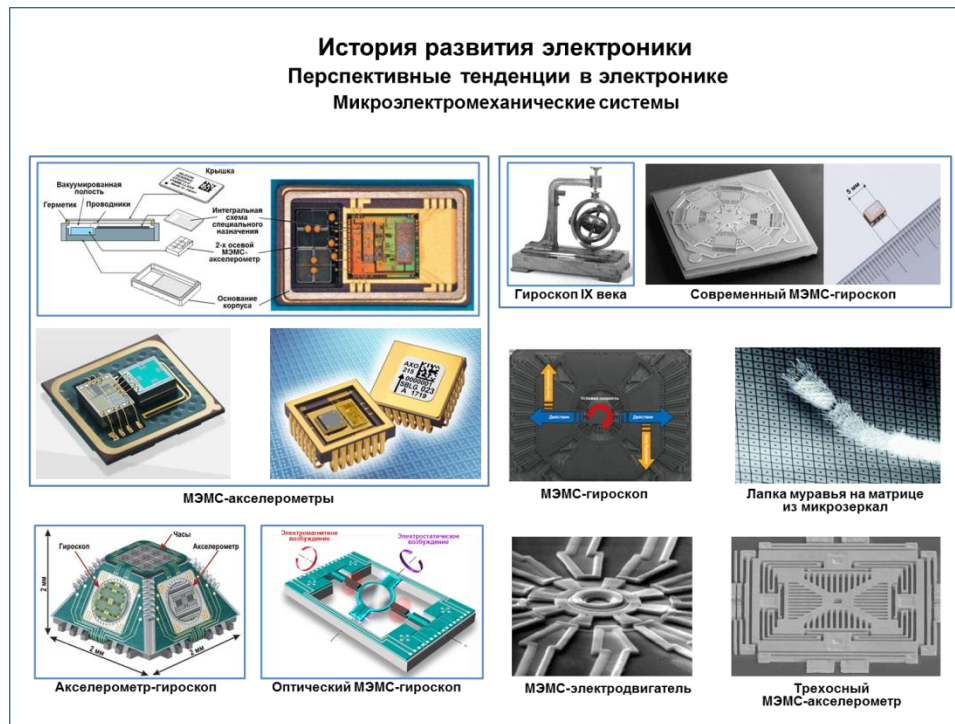


Рисунок 6.18

Органическая и печатная электроника (рисунок 6.19).

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.



Рисунок 6.19

Гибкие литийполимерные батареи, производимые по технологии ротационной печати, уже несколько лет известны на рынке, их можно использовать в смарткартах и других мобильных потребительских устройствах (рисунок 6.20). За последние несколько лет был достигнут большой прогресс в области печатных радиометок на основе органической электроники.

В заключение отметим, что проведенный специалистами обзор почти 200-летней истории изобретений, открытий и разработок в области электроники 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.

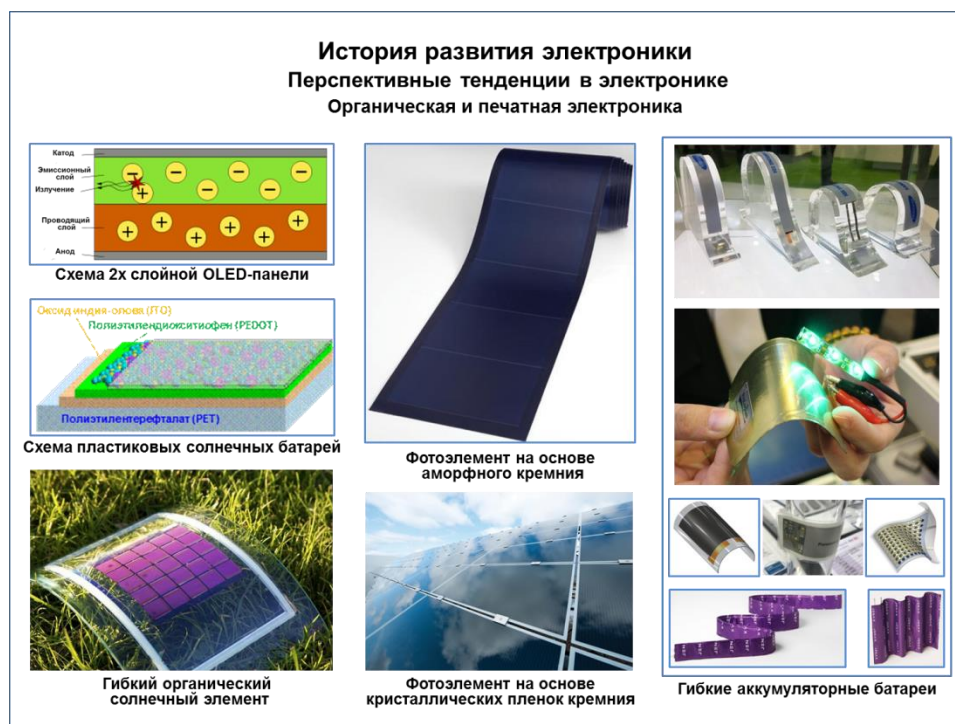


Рисунок 6.20

ЛЕКЦИЯ 7

Тема 6. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

Волокóнно-оптíческая связь - способ передачи информации, использующий в качестве носителя информационного сигнала электромагнитное излучение оптического (ближнего инфракрасного) диапазона, а в качестве направляющих систем - волоконно-оптические кабели.

Физическая основа

В основе волоконно-оптической связи лежит явление полного внутреннего отражения электромагнитных волн на границе раздела диэлектриков с разными показателями преломления (рисунок 7.1). Оптическое волокно состоит из двух элементов - сердцевины, являющейся непосредственным световодом, и оболочки. Показатель преломления сердцевины несколько больше показателя преломления оболочки, благодаря чему луч света, испытывая многократные переотражения на границе сердцевина-оболочка, распространяется в сердцевине, не покидая её.

Благодаря высокой несущей частоте и широким возможностям **мультиплексирования** пропускная способность волоконно-оптических линий многократно превышает пропускную способность всех других систем связи и может измеряться терабитами в секунду. Малое затухание света в оптическом волокне позволяет применять волоконно-оптическую связь на значительных расстояниях без использования усилителей. Волоконно-оптическая связь свободна от электромагнитных помех и труднодоступна для несанкционированного использования: незаметно перехватить сигнал, передаваемый по оптическому кабелю, технически крайне сложно.

Волоконно-оптическая связь находит всё более широкое применение во всех областях - от компьютеров и бортовых космических, самолётных и корабельных систем, до систем передачи информации на большие расстояния.

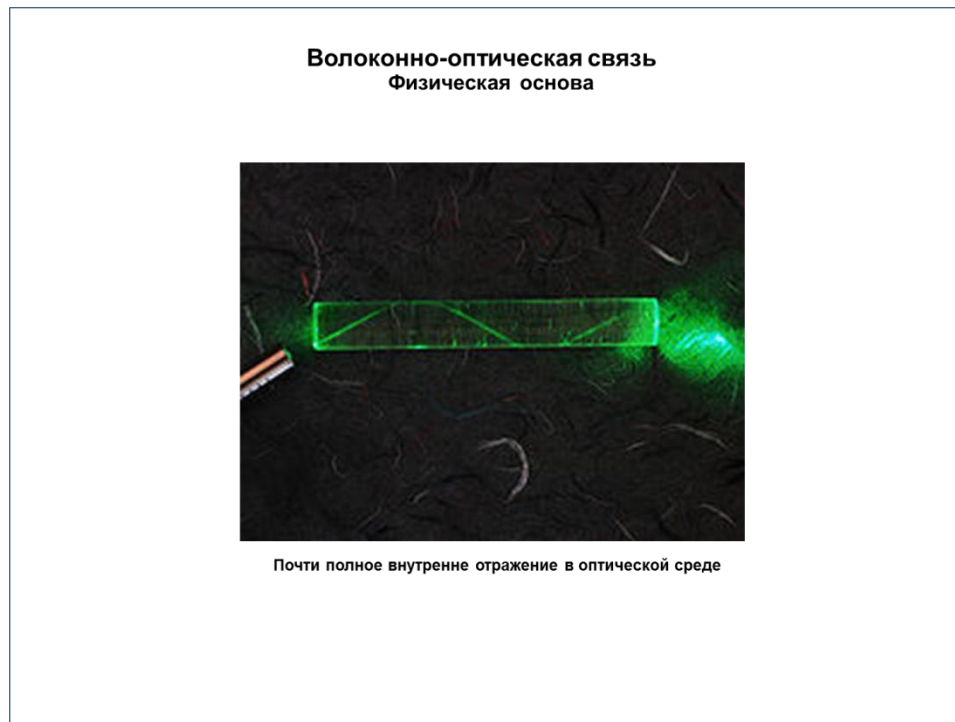


Рисунок 7.1

История

С древнейших времен в качестве носителя информации человек использует в основном акустические волны - звук и электромагнитные волны - свет. Люди на расстоянии прямой видимости обменивались сообщениями с помощью условных знаков; вне зоны прямой видимости для охвата значительного пространства сообщения передавали с помощью звуков рога или боевой трубы. Для увеличения дальности и определенного уменьшения угла направленности передачи сообщений люди использовали свет: огни костров на вершинах гор, в дальнейшем - факелы и «костры тревог или побед» на высоких башнях. Моряки применяли сигнальные лампы для передачи информации. Сохранились сведения о том, что в XII в. до нашей эры весть о падении Трои была передана в Грецию именно оптическим путем.

Таким образом, история передачи информации с помощью луча света уходит в глубь веков. Наиболее близкие к нам изобретения относятся к 90-м годам XVIII века: **И.П. Кулибин (в России) и К. Шапп (во Франции)** (рисунок 7.2) независимо друг от друга изобрели оптический телеграф, предназначенный главным образом для передачи военных и правительственных сообщений. Оптический телеграф К. Шапп использовал в ходе войны Французской республики против Австрии; более 20 станций связали Париж с Лиллем (230 км). Сообщения передавалось из одного конца в другой за 15 минут. В России для военно-правительственных целей оптический телеграф связал Петербург со Шлиссельбургом (1824 г.), Кронштадтом, Царским Селом и Гатчиной. Самая длинная в мире (1200 км) линия оптического телеграфа была открыта в 1839 г. между Петербургом и Варшавой.

Волоконно-оптическая связь
История



И.П. Кулибин



К. Шанп

Рисунок 7.2

Английский физик **Джон Тиндалл** в 1870 году продемонстрировал возможность управления светом на основе внутренних отражений. На собрании Королевского общества было показано, что свет, распространяющийся в струе очищенной воды, может огибать любой угол. В эксперименте вода протекала над горизонтальным дном одного желоба и падала по параболической траектории в другой желоб. Свет попадал в струю воды через прозрачное окно на дне первого желоба. Когда Тиндалл направлял свет по касательной к струе, аудитория могла наблюдать зигзагообразное распространение света внутри изогнутой части струи (рисунок 7.3). Аналогичное зигзагообразное распространение света происходит и в оптическом волокне.

Он досконально изучил данное явление, и вот что он записал в своей книге: «Если угол, под которым падает луч света из воды в воздух (т.е. угол между поверхностью двух сред и перпендикуляром), превышает 48 градусов, то луч не выходит из воды - он полностью отражается от границы вода-воздух... Если наименьший угол падения, при котором наблюдается полное внутреннее отражение, назвать предельным углом, то для воды он будет равным $48^{\circ}35'$, для бесцветного стекла (**флинтглас**) - $38^{\circ}41'$, а для алмаза - $24^{\circ}40'$ ».



Рисунок 7.3

Десятилетием позднее **Александр Грэхем Белл**, американский инженер, изобретатель телефона, запатентовал световой аналог телефона - фотофон, в котором направленный свет использовался для передачи голоса (рисунок 7.4). В этом устройстве с помощью системы линз и зеркал свет направлялся на плоское зеркало, закрепленное на рупоре. Под воздействием звука зеркало колебалось, что приводило к модуляции отраженного света. В приемном устройстве использовался детектор на основе селена, электрическое сопротивление которого меняется в зависимости от интенсивности падающего света. Модулированный голосом солнечный свет, падающий на образец селена, изменял силу тока, протекающего через контур приемного устройства, и воспроизводил голос. Данное устройство позволяло передавать речевой сигнал на расстояние более 200м.

После изобретения фотофона Белл написал отцу:

«Я услышал разборчивую речь, произведенную солнечным светом!... Можно вообразить, что этому изобретению обеспечено будущее!... Мы сможем разговаривать с помощью света на любом расстоянии в пределах видимости без каких бы то ни было проводов ...В условиях войны такую связь нельзя прервать или перехватить».

Изобретения И.П. Кулибина, К. Шаппа и А.Г. Белла основаны на прямолинейности распространения света, например, между ретрансляторами-станциями, проходящего через атмосферу. Все эти устройства относятся к открытым линиям оптической связи.

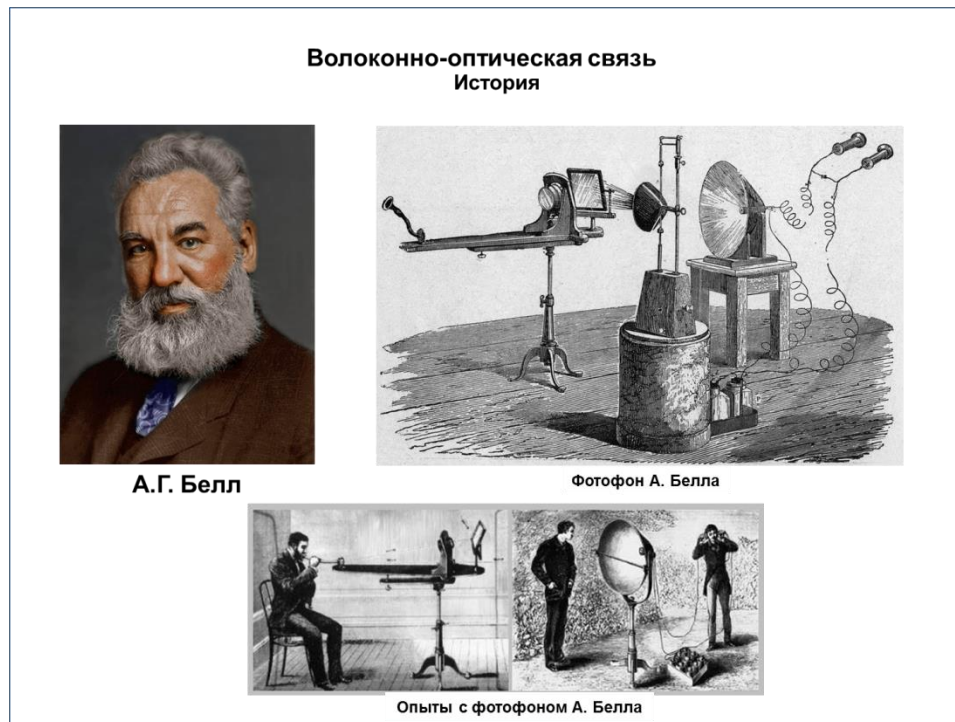


Рисунок 7.4

Возможность применения интенсивного слабо расходящегося лазерного луча для передачи информации пробудила интерес к оптическим методам передачи сигналов и стимулировала работы в этом направлении. В результате сразу же появились оптические системы передачи с открытым распространением сигналов, главное преимущество которых - огромная информационная емкость, обусловленная чрезвычайно высокой частотой оптической несущей (порядка 10^{14} Гц).

В нашей стране первая атмосферная оптическая линия связи появилась в Москве в конце 60-х годов. Была осуществлена телефонная связь между зданием Московского Гуманитарного Университета на Ленинских горах и Зубовской площадью, протяженность данной линии составляла более пяти километров. Необходимо отметить, что качество передаваемого сигнала полностью соответствовало принятым нормам. В те же годы подобные эксперименты с атмосферными оптическими линиями связи проводились в таких городах как Ленинград, Горький, Тбилиси и Ереван. Результаты испытаний можно назвать успешными, но чувствительность лазерной связи к плохим погодным условиям, к наличию дыма, пыли и других загрязнений воздуха, к турбулентным явлениям в атмосфере, которые приводят к флуктуации показателя преломления среды, колебаниям луча и искажениям принимаемого сигнала, заставила специалистов усомниться в ее надежности, и дальнейшие исследования в этой области были прекращены. Причина столь сильного ненормированного затухания оптического сигнала под действием атмосферы, скрывалась в использовании сигналов с непрерывной (аналоговой) модуляцией, характерной для тех лет.

В первых атмосферных линиях связи использовался гелий-неоновый лазер типа ЛГ-36 с длиной волны излучения 0,63 мкм и мощностью 40 мВт. Амплитудная модуляция осуществлялась модулятором типа ОПМШ 100 на базе

эффекта Поккельса, а фотоприемником служил фотоумножитель ФЭК-51 (рисунок 7.5).

Недостатки открытых оптических систем передачи, прежде всего сильное ослабление и искажение сигналов в среде распространения (кроме космоса), вызвали необходимость использования направляющей системы - оптического волокна, в котором сигналы не подвержены действию внешних помех.



Рисунок 7.5

Использование света в качестве носителя информации позволяет передавать сверхогромные объемы информации со скоростью света в среде. Эти и другие достоинства оптической связи поставили перед человеком задачу создания закрытых от внешней среды устройств передачи света на большие расстояния, причем по сложно искривленному в пространстве тракту.

Впервые возможность создания световодов была высказана русским инженером **В.Н. Чиколевым** в 60-х годах XIX столетия (рисунок 7.6). И уже в середине 70-х годов XIX столетия В.Н. Чиколев осветил с помощью световодов пороховые погреба крупнейшего по тем временам Охтинского порохового завода. Источником света служила угольная дуга - свеча Яблочкова. Световоды представляли собой полые металлические трубы, внутренняя поверхность которых была зеркальной. Однако мысль о передаче информации с помощью луча света, распространяющегося по световоду, пришла к ученым почти через 100 лет (в 60-е годы XX века).

В начале XX века были проведены теоретические и экспериментальные исследования диэлектрических волноводов, в том числе гибких стеклянных стержней.

Волоконно-оптическая связь История

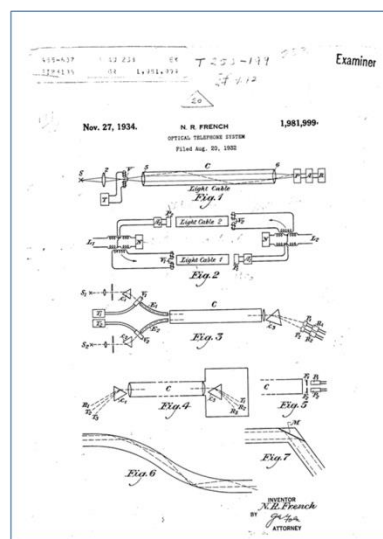


В.Н. Чиколев

Рисунок 7.6

Историю оптоволоконна можно отсчитывать от первой половины XX века. В 1934 году американцем **Норманом Р. Френчем** был получен первый патент на телефонную систему, собранную на основе оптических технологий (рисунок 7.7). В указанной системе речевые сигналы передавались по стеклянным стержням при помощи света.

Волоконно-оптическая связь История



Оптическая телефонная система Норманна Френча

Рисунок 7.7

Новый этап начался в 1951 г., когда **Ван Хиил** в Голландии, **Брайен О'Бриен**, работавший в Американской оптической компании, и **Нариндер Капани** (рисунок 7.8) с коллегами в Императорском научно-технологическом колледже в Лондоне независимо друг от друга начали изучать проблему передачи изображения по жгуту из регулярно уложенных стеклянных волокон. Работа этих исследователей ограничивалась только гибким волоконным эндоскопом. **Основным достижением Ван Хиила является принципиальная разработка стеклянных волокон в оболочке из пластика. Капани разработал технологию укладки волокон**, которая в видоизмененной форме используется в промышленности как стандартная. Он первый получил изображение без искажений с помощью жгута из регулярно уложенных стеклянных волокон диаметром 50 мкм без оболочки.

Таким образом, в период с 1951 по 1959 год работами **Ван Хиила, Капани и Хирошовица** был заложен основной принцип волоконной оптики - принцип передачи света по двухслойному диэлектрическому световоду. Все современные световоды, используемые как для связи, так и для других применений, построены на основе этого принципа.



Рисунок 7.8

В эти же годы (1954) **Н.Г. Басов** и **А.М. Прохоров** (в России) и независимо от них **Ч.Таунс** (в США) (рисунок 7.9) сделали величайшее открытие века: создали источник микроволнового когерентного излучения - газовый квантовый генератор, названный мазером, а в 1959 году Н.Г. Басов с сотрудниками предложил использовать полупроводниковые материалы для создания твердотельных световых квантовых генераторов, названных лазерами. Слово «лазер» составлено из первых букв фразы *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* - усиление света с помощью индуцированного излучения.

В 1956 г. **Капани впервые предложил термин «волоконная оптика»**. По его определению, волоконная оптика - это оптика на основе активных или пассивных волокон, применяемая для передачи света (ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областей спектра) по заданному пути. В 1973 году доктор Капани основал компанию Kaptron, специализирующуюся в области волоконно-оптических разветвителей и коммутаторов.



Рисунок 7.9

В 1956 году впервые в мире **О.Ф. Косминский** (в России, Ленинград) предложил использовать оптический диапазон длин волн для передачи больших объемов информации по искусственным оптическим линиям передачи. В 1957-58 годах **он и В.Н. Кузьмичев** обосновали общую схему световодной системы связи, основные принципы построения оптических многоканальных систем связи, основные типы световодов (рисунок 7.10).

Таким образом, в 1957 г., в дополнение к известным способам передачи информационных сигналов по металлическим проводникам (1832 г. - П.Л. Шиллинг) и по радио (1895 г. - А.С. Попов), в нашей стране был предложен, впервые в мире, новый способ передачи - по длинным искусственным оптическим линиям в виде лучеводов и световодов (в том числе по оптическому волокну) - поэлементно-последовательных информационных оптических сигналов, в отличие от известного на то время способа передачи изображения по жгуту световодов.

Волоконно-оптическая связь История

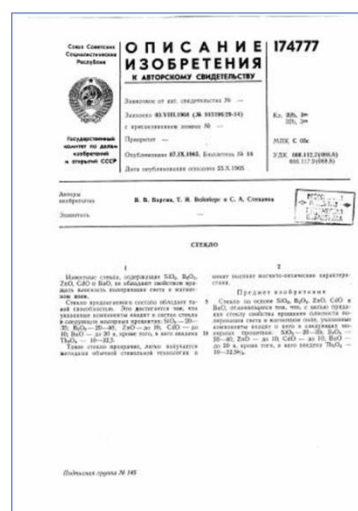


Изобретение О.Ф. Косминского, В.Н. Кузмичева, В.И. Дроздова

Рисунок 7.10

В 1958 г. советские специалисты **В.В. Варгин** и **Т.И. Вейнберг** показали, что «светопоглощение» стекол обуславливается примесями красящих металлов, вносимыми шихтой, и продуктами разведения огнеупоров (рисунок 7.11). В этой же работе впервые показана возможность дальнейшего существенного уменьшения ослабления света в стеклах с использованием значительно более чистых исходных химических реактивов и коренного совершенствования технологии синтеза стекол.

Волоконно-оптическая связь История



Изобретение В.В. Варгина и Т.И. Вейнберг

Рисунок 7.11

В 1961 г. **Снитцер** (рисунок 7.12) получил лазерные волокна из стекол с добавкой неодима и исследовал их использование в качестве усилителей света.

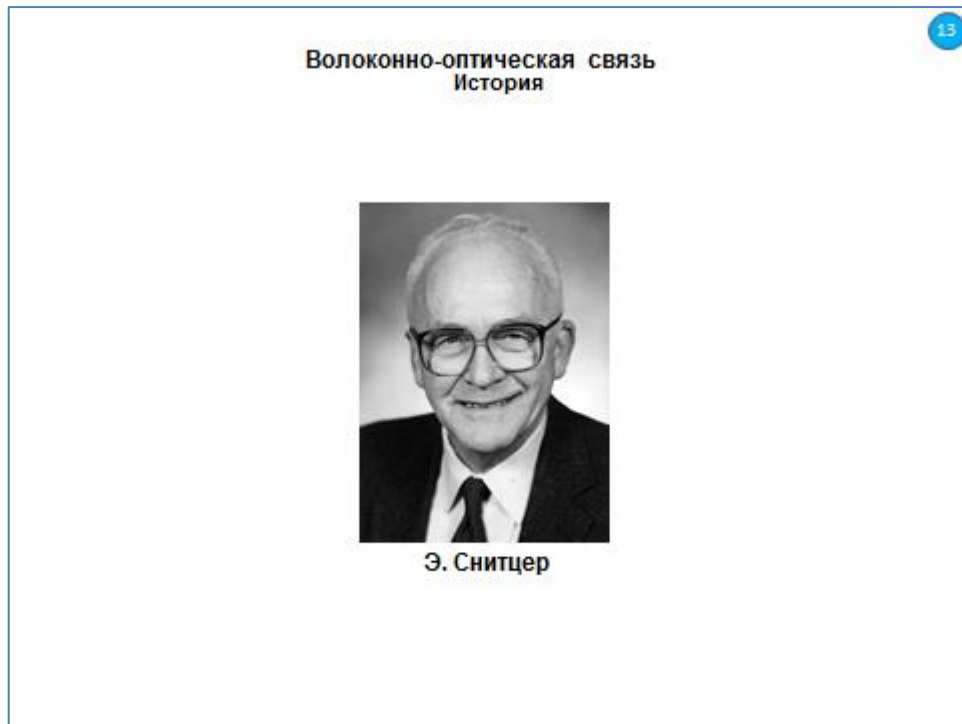


Рисунок 7.12

В 1965 году группой специалистов ЦНИИС во главе с **А.Г. Мурадяном** (рисунок 7.13) была создана 12 канальная оптическая линия связи между двумя АТС в Москве с использованием **ИКМ**. В 1966 году этими же специалистами была реализована экспериментальная лазерная линия связи емкостью 240 каналов, сформированная по методу **ИКМ**, между двумя АТС в Москве. Работы в этом же направлении проводились в те годы и на Западе. Например, компания «Bell Telephone» провела испытания лазера в системе связи с **ИКМ**.



Рисунок 7.13

К выводам советских ученых В.В. Варгина и Т.И. Вейнберга через восемь лет (1966 г.) пришли сотрудники английской лаборатории телекоммуникационных стандартов фирмы STL - **Чарльз Као и Джорж Хокхэм** (рисунок 7.14). Первыми из зарубежных специалистов по технике связи они опубликовали статью о том, что оптические волокна могут использоваться как среда передачи при достижении прозрачности, обеспечивающей затухание менее 20 дБ/км (децибел на километр).

В 1960-е годы волокно имело затухание 1000 дБ/км и более. Для возможности передачи информационного сигнала внутри волоконно-оптических каналов Као пытался достичь порогового значения величины затухания сигнала, по крайней мере в 20 дБ/км. Но даже с таким затуханием дальность оптической линии была крайне мала. Данное обстоятельство подстегнуло исследователей к поиску материалов, которые лучше всего соответствовали бы установленным критериям. Специально для этих целей **Као собрал коллектив из четырёх человек, в который, включая его самого, вошли Т. Дэвис, М. Джоунс, С. Райт**. Тестируя разные материалы, группа приходит к выводу, что наиболее подходящим кандидатом для осуществления волоконно-оптической связи является кварцевое стекло (SiO_2), в котором наблюдался наименьший уровень затухания сигнала.

Као также утверждал, что основная причина затуханий в стекловоллокне состоит не в фундаментальных физических эффектах, например, рассеивание, как думали в то время многие физики, а в примесях стеклянного материала, которые можно удалить. Это привело к глобальному исследованию и производству сверхчистых стекловолокон. Когда Као предложил, что такое стекловолокно можно использовать для передачи информации на дальние расстояния, и что оно может заменить медные провода, составляющие основу телекоммуникаций того

времени, большинство его идеи не восприняли всерьез. Отметим, что на ранней стадии разработки оптических волокон Као уже строго предпочел одномодовый режим для дальней оптической связи, вместо того, чтобы использовать многомодовые системы.



Рисунок 7.14

С 1966 года ряд зарубежных фирм, таких как Bell Laboratories и Corning Glass Works (в США), Nippon Electric и Nippon Sheet Glass (в Японии), AEG-Telefunken и Siemens (в Германии) (рисунок 7.15) занялись вопросами очистки стекла и разработкой технологии получения оптических волокон для линий дальней связи. Эти работы на Западе шли параллельно с исследованием и других сред для передачи оптического излучения.

В 1969 г. Као совместно с В.М. Джонсоном получил волокно с коэффициентом затухания на уровне 4 дБ/км, что явилось первым доказательством возможности получения сверхпрозрачного стекла. Только с этого момента компания Bell Labs начала серьезно рассматривать волоконную оптику как перспективную телекоммуникационную систему.



Рисунок 7.15

В 1970 году **Роберт Маурер** со своими коллегами из Corning Glass Work! получил первое волокно с затуханием менее 20 дБ/км. В этом же году в Ленинграде **Ж.И. Алферов** (рисунок 7.16) создал полупроводниковый лазер на основе двойной гетероструктуры арсенида галлия, работоспособный при комнатной температуре. Эти структуры оказались наиболее перспективными (среди других полупроводниковых материалов) для источников и приемников излучения и используются до сих пор в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС).

К 1972 году в лабораторных условиях был достигнут уровень в 4 дБ/км, что соответствовало критерию Као и Хокхэма. В настоящее время лучшие волокна имеют уровень потерь в 0,2 дБ/км.



Рисунок 7.16

В 1973 году Военно-морские силы США внедрили волоконно-оптическую линию на борту корабля Little Rock (рисунок 7.17). В 1976 г. в рамках программы ALOFI военно-воздушные силы заменили кабельную оснастку самолета А-7 на волоконно-оптическую. При этом кабельная система из 302 медных кабелей, имевшая суммарную протяженность 1260 м и весившая 40 кг, была заменена 12 волокнами общей длиной 76 м и весом 1,7 кг. Военные были первыми и в деле внедрения волоконно-оптической линии. В 1977 году была запущена 2-км система со скоростью передачи информации 20 МГб/сек (мегабит в секунду), связавшая наземную спутниковую станцию с центром управления.

В середине 1970-х Као сделал оригинальное исследование по пределу усталости стекловолокна. Позднее Као запустил программу «Терабитная технология», посвященную ограничениям в возможностях обработки высокочастотных сигналов, поэтому он также известен как «отец концепции терабитной технологий». Као опубликовал более 100 статей и получил более 30 патентов, в том числе на разработку водостойких высокопрочных волокон.

Волоконно-оптическая связь
История



Американский легкий крейсер Little Rock

Рисунок 7.17

Первые публикации о разработке отечественных стеклянных волоконных световодов, предназначенных для передачи информации, появились в 1975 году (Е.М. Дианов, ФИАН, и Г.Г. Девярых (рисунок 7.18) с сотрудниками, ИХАН). Первые световоды имели диаметр сердцевины 35 мкм и внешний диаметр 130 мкм, их длина составляла 100-130 м. Минимальные потери до 10 дБ/км были получены в диапазоне длин волн 0,7-0,9 мкм в световоде со ступенчатым профилем показателя преломления. В 1976 году в ФИАНЕ была опробована ВОЛС для связи блоков ЭВМ длиной 350 м на основе созданных световодов.

В 1977 году компании AT&T и GTE установили коммерческие телефонные системы на основе оптического волокна. Эти системы превзошли по своим характеристикам считавшиеся ранее незыблемыми стандарты производительности, что привело к их бурному распространению в конце 1970-х и начале 1980-х годов.

В конце 70-х годов Минэлектронпромом были специально разработаны для ВОЛС полупроводниковые излучающие диоды, **суперлюминисцентные и лазерные диоды**. Эти излучатели были оптимизированы на длину волны излучения 0,8-0,9 мкм. **Диапазон вводимых в волокно мощностей составлял от 50 мкВт до 1,5 мВт.** Разрабатывались цифровые передающие модули.

В 1980-м AT&T объявила об амбициозном проекте волоконно-оптической системы, связывающей между собой Бостон и Ричмонд. Реализация проекта воочию продемонстрировала скоростные качества новой технологии в серийных высокоскоростных системах, а не только в экспериментальных установках. После этого стало ясно, что в будущем ставку надо делать на волоконно-оптическую технологию, показавшую возможность широкого практического применения.

Волоконно-оптическая связь История



Е.М. Дианов



Г.Г. Девярых

Рисунок 7.18

Разработчиком полупроводниковых фотоприемников, по сложившейся специализации министерств, был Миноборонпром СССР. К 1981 году в НИИ прикладной физики (НИИПФ) был разработан и получил высокую оценку **pin-фотодиод «Нитка-Ф»**. Для линий дальней связи разрабатывался **лавинный фотодиод**, имевший высокую чувствительность в диапазоне 0,5-1,6 мкм и очень высокое быстродействие – более 1 ГГц (рисунок 7.19).

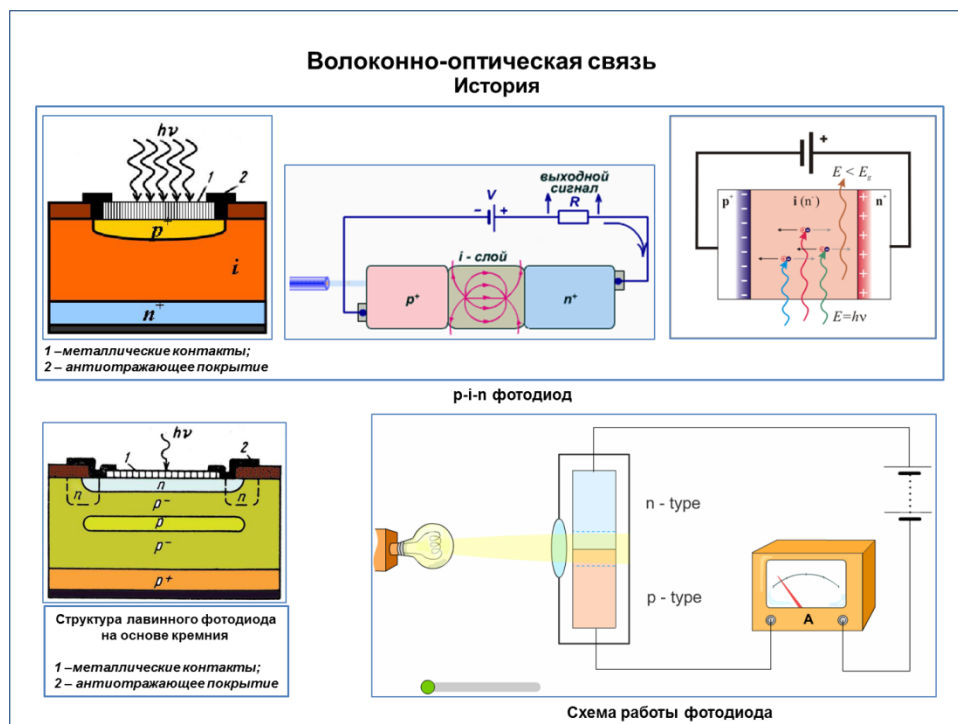


Рисунок 7.19

Лавинный фотодиод (ЛФД) – это высокочувствительный полупроводниковый прибор, преобразующий свет в электрический сигнал за счет фотоэффекта. Разработкой многослойных **эпитаксиальных** структур на основе твердых растворов **GaAlAsSb** и **InGaAsP** для фотоприемников и излучателей занимался «Гиредмет» Минцветмета.

Разработку приемных и передающих модулей для ВОЛС под свои задачи проводили предприятия отраслевых министерств. Это были в основном бортовые модули на основе световодов и pin-фотодиодов диапазона 0,8-0,9 мкм. Среди этих работ следует отметить комплекты модулей НИИ автоматики Минпромсвязи, микросборки МНИИП Минрадиопрома, НИИ «Агат» Минсудпрома, ЛИИ Минавиапрома.

Работы по созданию оптического волокна для ВОЛС проводили институты АН СССР и ряд институтов отраслевых министерств (Минэлектронпром, Минхимпром, Минстройматериалов, Минэлектротехпром).

На выставке «ВОЛС-3» было представлено оптическое волокно в основном типа «кварц-полимер», работающее на длине волны 0,85 мкм, имеющее диаметр сердцевины 200-400 мкм для передачи излучения светодиодов и с диаметром сердцевины 50-60 мкм для передачи излучения лазерных диодов, с затуханием порядка 10-30 дБ/км. Такое волокно было продемонстрировано НИИЭС и ВНИИКП. Результаты НИР по созданию «ступенчатого» и «градиентного» волокна на длину волны 1,3 мкм показал НИИ кварцевого стекла МПСМ. Для градиентного волокна с диаметрами сердцевина/оболочка 60/150 мкм была достигнута широкополосность 200 МГц/км и затухание 5 дБ/км.

Разработкой оптических кабелей различного назначения и соответственно различных конструкций занимались в основном ВНИИКП и ОКБКП Минэлектротехпрома были попытки разработки кабелей на основе волокна собственного производства и у других предприятий. Во ВНИИКП были разработаны конструкции кабеля с количеством волокон 1,2,4,8 на основе волокон «кварц-полимер» и «кварц-кварц» с затуханием от 10 до 30 дБ/км и наружным диаметром от 2,5 мм до 12 мм.

ОКБКП разработал и выпускал по ТУ 1979 года кабель КВСП-50 на основе волокна «кварц-полимер» со ступенчатым профилем показателя преломления, затуханием 20-40 дБ/км и широкополосностью 40 МГц/км, кроме того, был разработан внутриобъектовый ОК с затуханием менее 30 дБ/км.

К началу 80-х годов на имеющихся экспериментальных и опытных образцах компонентов были созданы, опробованы и получены результаты НИР по созданию ВОЛС различного назначения. В частности, были разработаны бортовые ВОЛС для подвижных объектов: самолетов, кораблей, танков и др. Эти линии имели небольшую длину, использовали преимущественно волокно с диаметром сердцевины 200-400 мкм, световоды и pin-фотодиоды диапазона 0,85 мкм. Главным преимуществом ВОЛС перед традиционными системами связи на борту была их невосприимчивость к электромагнитным полям.

В мае 1981 года было принято Постановление ЦК КПСС и СМ СССР «О разработке и внедрении световодных систем связи и передачи информации». С его выходом было положено начало организации широкомасштабных работ в

области ВОЛС. Оно поставило перед предприятиями заинтересованных министерств задачи по созданию оптического волокна и кабеля, оптоэлектронной элементной базы, контрольно-измерительной аппаратуры, специального технологического оборудования, оптических соединителей и других компонентов. Конечной целью являлись ВОЛС для передачи различной информации: от телефонных разговоров до цифровых широкополосных сигналов в системах специального назначения.

Развитие задач, поставленных в 1981 году, было закреплено Постановлениями СМ СССР 1985-1986 годов. В соответствии с ними и решениями ВПК конкретизировались отдельные направления работ. Например, осваивался диапазон длин волн 1,55 мкм; повышались требования к быстродействию, энергетическим характеристикам, надежности оптоэлектронных компонентов; повышались требования к качеству оптического волокна – его стойкости к низким температурам, долговечности, вносимому затуханию, дисперсии.

Таким образом, ведущая роль в разработке отечественного оптического волокна принадлежит АН СССР и в первую очередь ФИАН, из которого в середине 80-х годов выделился ИОФАН под руководством **А.М. Прохорова**. Этот институт далее и занимался оптическим волокном. Кроме того, разработкой технологии оптического волокна занимался Институт химии - ИХАН и Институт радиотехники и электроники - ИРЭАН СССР.

Под руководством **Е.М. Дианова** в ФИАН в 80-е годы в содружестве с ИХАН, где работами руководил **Г.Г. Девярых** широко развернулись работы по созданию технологии одномодового волокна и, кроме того, продолжались ранее начатые работы по усовершенствованию технологии градиентных многомодовых волокон. Направления работ по волокну определяли требования к оптическому кабелю, основными из них были:

- уменьшение и достижение предельно низких, близких к теоретическому минимуму, потерь в волокне;
- увеличение ширины полосы пропускания или сведения к минимуму дисперсии;
- увеличение прочности волокна;
- снижение потерь, возникающих при использовании ОВ при отрицательных температурах;
- повышение радиационной стойкости волокна.

Для одномодовых волокон, полученных методом химического осаждения из газовой фазы на внутреннюю поверхность опорной трубки, к 1988 году были достигнуты потери, близкие к теоретическому пределу; на длине волны 1,3 мкм – 0,36 дБ/км и на длине волны 1,55 мкм – 0,21 дБ/км.

К концу 80-х годов в стране была частично создана, а на 90% закуплена за рубежом технологическая база для выпуска оптического волокна. Разработки ведущих НИИ, а особенно АН СССР, отличались высокими характеристиками и неплохим качеством, но получить промышленное волокно с такими же характеристиками не удалось.

Ответственным за разработку оптических кабелей в едином технологическом цикле с оптическими волокнами Постановлением 1981 года было назначено Министерство электротехнической промышленности (МЭТП), головным предприятием отрасли по выпуску оптических кабелей был назначен Всероссийский научно-исследовательский институт кабельной продукции (ВНИИКП). Кроме ВНИИКП в МЭТП разработкой и выпуском оптических кабелей занималось отраслевое конструкторское бюро кабельной продукции (ОКБКП) в Мытищах, которое также как и ВНИИКП к 1981 году уже имело опыт работы с оптическим кабелем и выпускало серийные марки такого кабеля.

Между ВНИИКП и ОКБКП с выходом Постановления установилось разграничение тематики: ВНИИКП в основном разрабатывал оптические кабели для городских, зонавых и магистральных линий связи, их главным заказчиком было Минсвязи СССР. ОКБКП разрабатывал внутриобъектовые и бортовые кабели. Оба этих предприятия имели опытное производство на своих территориях и, кроме того, промышленный выпуск оптических кабелей осваивал опытный завод ВНИИКП в Подольске, завод «Электропровод» в Москве, завод «Севкабель» в Ленинграде, завод «Ташкенткабель», завод «Одессакабель» и некоторые другие.

Первым оптическим кабелем для городских линий связи, освоенным в серийном производстве на ОЗ ВНИИКП в 1985-1986 годах был ОК-50 («Каштан»). Он имел 4-8 волокон «кварц-полимер», работал на длине волны 0,85 мкм, вносил затухание 3-5 дБ/км, имел широкополосность 250-500 МГц/км.

Следующей серийной разработкой ВНИИКП в 1987 году был кабель ОЗКГ-1 («Калибр») для зонавых линий связи первого поколения. Кабель использовал градиентные волокна на длине волны 1,3 мкм, имел затухание 0,7-1,5 дБ/км, кроме 4 (8) волокон предусматривались 4 медные жилы для дистанционного питания линейного оборудования. Конструктивно кабель содержал центральный профильный элемент и свободно располагающиеся в пазах сердечника волокна. Укладка оптического волокна осуществлялась одновременно с закруткой профилированного сердечника и введением гидрофобного заполнения. Выполненный по этой технологии кабель поставлялся на линию Ленинград – Сосновый бор.

Последующие разработки ВНИИКП на основе одномодовых волокон могли использоваться, как для зонавых, так и для магистральных линий. Таким был кабель ОМЗКГ-10 («Калибр-4»), освоенный в серийном производстве в 1988 году. Одномодовое волокно работало на длине волны 1,3 мкм, имело затухание не более 0,7 дБ/км, дисперсию до 3,5 пс/нм×км. Кабель предназначался для прокладки в грунты любых категорий и в воде при пересечении болот и рек. Такой кабель поставлялся с 1989 года на строительство линии Ленинград – Минск.

К концу 1990 г. было разработано второе поколение оптических кабелей: городские с одномодовыми и многомодовыми волокнами на длине волны 1,3 мкм с затуханием до 0,7 дБ/км и кабели дальней связи на длине волны 1,55 мкм с затуханием до 0,3 дБ/км (марки ОКЛ). Кабели ОКЛ были поставлены в 1990 году на строительство линии Минск - Смолевичи.

В 1990 году **Линн Моллинар**, сотрудник Bellcore, продемонстрировал возможность передачи сигнала без регенерации со скоростью 2,5 Гб/сек на расстояние около 7500 км. Обычно волоконно-оптический сигнал необходимо усиливать и периодически восстанавливать его форму примерно через каждые 25 км. При передаче волоконно-оптический сигнал теряет мощность и искажается. В системе Моллинара лазер работал в солитонном режиме и использовалось самоусиливающее волокно с добавками эрбия. Солитонные (в очень узком диапазоне спектра) импульсы не рассеиваются и сохраняют свою первоначальную форму по мере распространения по волокну.

В то же самое время японской компанией Nippon Telephone & Telegraph была достигнута скорость 20 Гб/сек, правда, на существенно более короткое расстояние. Ценность солитонной технологии заключается в принципиальной возможности прокладки по дну Тихого или Атлантического океана волоконно-оптической телефонной системы, не требующей установки промежуточных усилителей (рисунок 7.20).



Рисунок 7.20

В 1991г. в НПО «Дальняя Связь» (рисунок 7.21) была осуществлена разработка оконечного оборудования **ОСП** со спектральным **мультиплексированием** четырех оптических потоков со скоростью передачи 2,5 Гбит/с в каждом потоке.

В выполнении работы принимали участие 27 производственных, исследовательских и академических организаций нашей страны, обеспечивших создание необходимой электронной, оптоэлектронной и оптической компонентной базы: были разработаны высокоскоростные транзисторы и логические микросхемы, фотодетекторы и фотоприемники, линейка

быстродействующих полупроводниковых лазеров, волоконный усилитель, волоконные ответвители и др.

Работающая стандартная стойка с этим оборудованием была показана на международной выставке Telecom-91 в Женеве, где ничего подобного представлено не было. На этой же выставке демонстрировалась еще одна разработка НПО «Дальняя Связь» – волоконно-оптическая соединительная линия для передачи двух телевизионных сигналов со скоростью 334 Мбит/с. Аналогов этому оборудованию на всемирной выставке также не было.

После выставки в Женеве оборудование ВОСП на 10 Гбит/с со спектральным уплотнением четырех оптических несущих было показано в ноябре этого же года в Хельсинки.

Весь комплекс работ, выполненных в институтах АН СССР при участии ряда отраслевых НИИ, привел к тому, что к настоящему времени ВОЛС из модных экзотических новинок стали рядовыми незаменимыми структурами в архитектуре многих тысяч информационных систем самого широкого и разнообразного назначения.

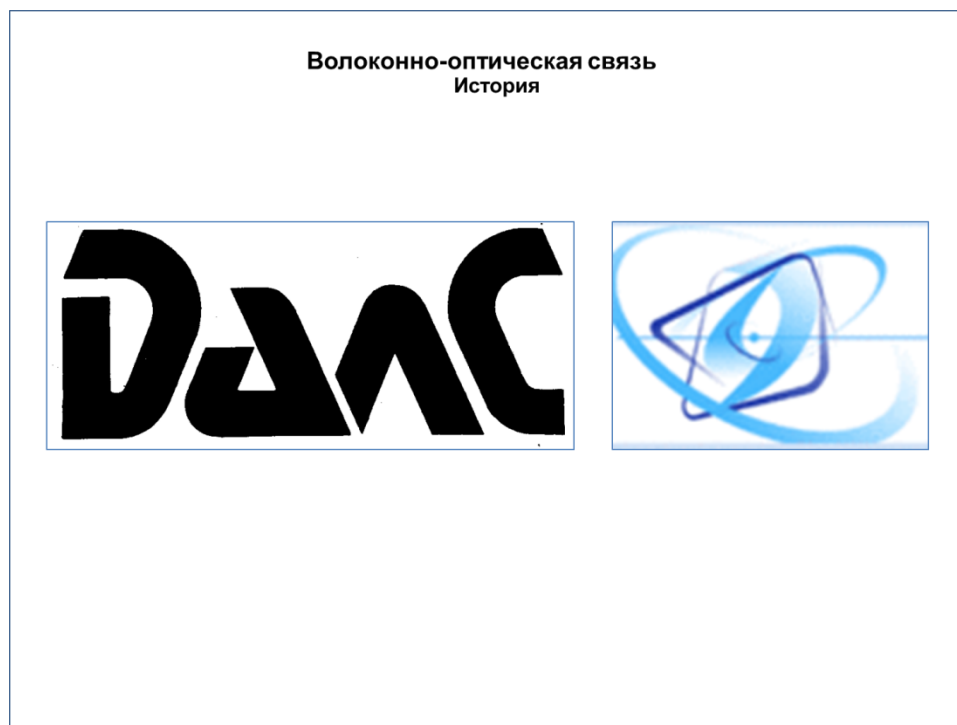


Рисунок 7.21

Оптическое волокно играет ту же роль, что и медный провод, используемый для передачи телефонных разговоров или компьютерных данных. Но в отличие от медного провода по волокну переносится свет, а не электрический сигнал. В связи с этим появляется множество преимуществ, что позволяет использовать оптическое волокно как несущую среду в различных областях техники - от телефонии до компьютеров и систем автоматизации.

Волоконно-оптическая система представляет собой линию, связывающую приемник и передатчик.

На рисунке 7.22 представлены основные компоненты такой системы:

Передатчик - преобразует электрический сигнал в световой. Более точно данное преобразование выполняет источник, представляющий собой либо светоизлучающий, либо лазерный диод. Управляющее устройство в нем преобразует входной сигнал в сигнал определенной формы, необходимой для управления источником.

Волоконно-оптический кабель - среда, по которой распространяется световой сигнал. Кабель состоит из волокна и защитных оболочек.

Приемник предназначен для приема светового сигнала и его обратного преобразования в электрический сигнал. Двумя основными частями приемника являются детектор, непосредственно выполняющий функцию преобразования сигналов, и выходное устройство, которое при необходимости усиливает сигнал и изменяет его форму.

Соединители (коннекторы) предназначены для подключения волокон к источнику, детектору и для соединения волокон между собой.

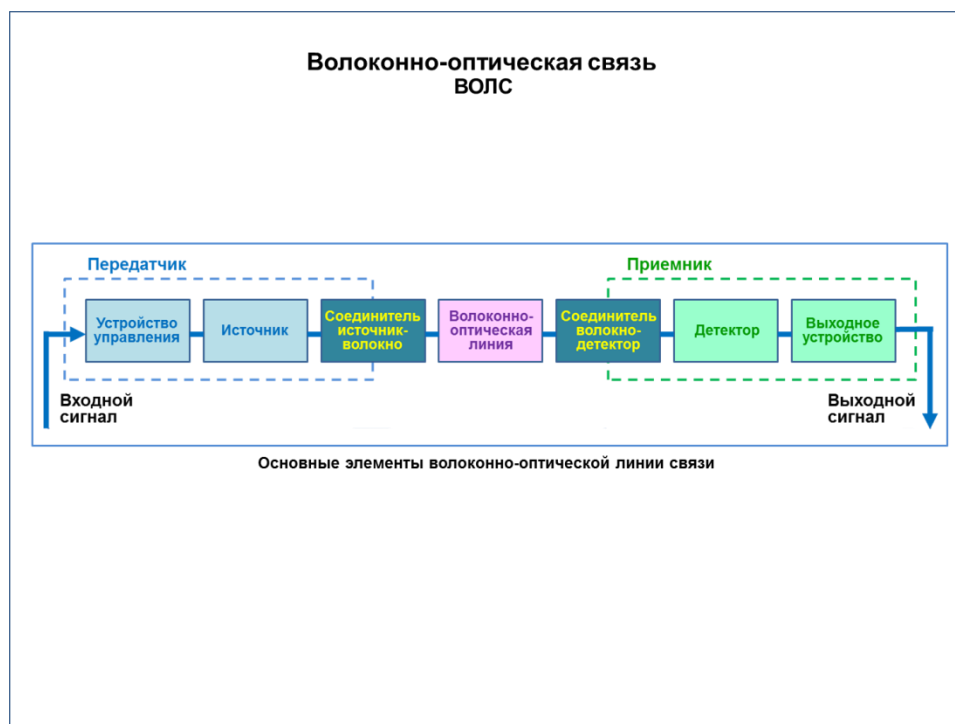


Рисунок 7.22

Оптоволоконо

Оптоволоконный кабель представляет собой устройство (рисунок 7.23), состоящее из центральной жилы, придающей жесткость кабелю (1), оптического волокна (2), пластиковых модулей для оптических волокон (3), пленки с гидрофобным гелем (4), полиэтиленовой оболочки (5), защитной оболочки (6), внешней полиэтиленовой оболочки (7).

Само оптическое волокно - это прозрачная неплая трубка толщиной 125 микрон, что примерно с волос. Изготовлена она из специального материала, который обычно обладает достаточной прозрачностью, чтобы хорошо пропускать свет (фотоны).

При этом оптическое волокно обладает и особой гибкостью, устойчиво к различным видам деформаций. Его можно изогнуть в кольцо - и свет все равно будет без проблем проходить по нему, не теряя своих физических характеристик. К примеру, одна из последних разработок ОКБ КП - волоконно-оптический кабель управления для подводных работ - выдерживает более 1000 изгибов с радиусом всего 120 мм.

Изготавливают такие волокна из особых материалов, обладающих свойствами стекла, а иногда и из кварцевого стекла. Если требуется передать информацию на более дальние расстояния, применяются другие материалы: **халькогенидное стекло**, флуоро-**алюминат** и флуоро-цирконат. Более современные кабели изготавливаются из полимерных материалов, они так и называются – оптические волокна из пластика. Все эти материалы имеют схожий со стеклом показатель преломления.



Рисунок 7.23

Принцип работы и преимущества

Именно термин «преломление» - ключевое слово в описании принципа работы любого оптоволоконного кабеля. Итак, передача данных в оптоволоконном кабеле производится с помощью света. Как известно, свет распространяется только по прямой линии и не может изменять направление самостоятельно. Чтобы свет распространялся по кругу, его нужно несколько раз отразить.

На этом и основан принцип работы оптоволоконного кабеля: в нем свет многократно переотражается, преломляется под очень маленькими углами, полностью остается внутри благодаря строению оптического волокна. Это напоминает электрический ток, текущий по металлическому проводу, поэтому оптическое волокно часто называют светопроводом или световодом (рисунок 7.24).

Свет же поступает в кабель через лазер, который установлен на одном конце оптического кабеля. В конце кабеля свет принимается приемным устройством и обратно перекодируется в электрический сигнал. Современные оптоволоконные системы могут передавать миллиарды бит в секунду, для чего лазер включается и выключается несколько миллиардов раз каждую секунду. Поэтому, вне сомнений, скорость - одно из главных достоинств оптоволокна.

Среди других преимуществ - это то, что световой сигнал не подвержен действию внешних электромагнитных помех, его невозможно подслушать, перехватить. Волоконные световоды выигрывают и по таким показателям, как масса и габариты, ведь нет нужды в тяжелых металлических оболочках.

К примеру, при переходе на оптическое волокно масса бортовой кабельной сети истребителя снижается на 65% по сравнению с кабельной сетью на основе металлических сплавов. Сегодня на предприятии КРЭТ выпускается малогабаритный волоконно-оптический кабель для истребителя пятого поколения ПАК ФА.

В таких кабелях в принципе невозможно искрение, что дает большие возможности в использовании их во взрывоопасных производствах. Например, связь на опасных производствах и атомных станциях уже давно выполняется исключительно с применением оптоволокна. Оно используется и в космической, авиационной и, конечно же, в военной промышленности.

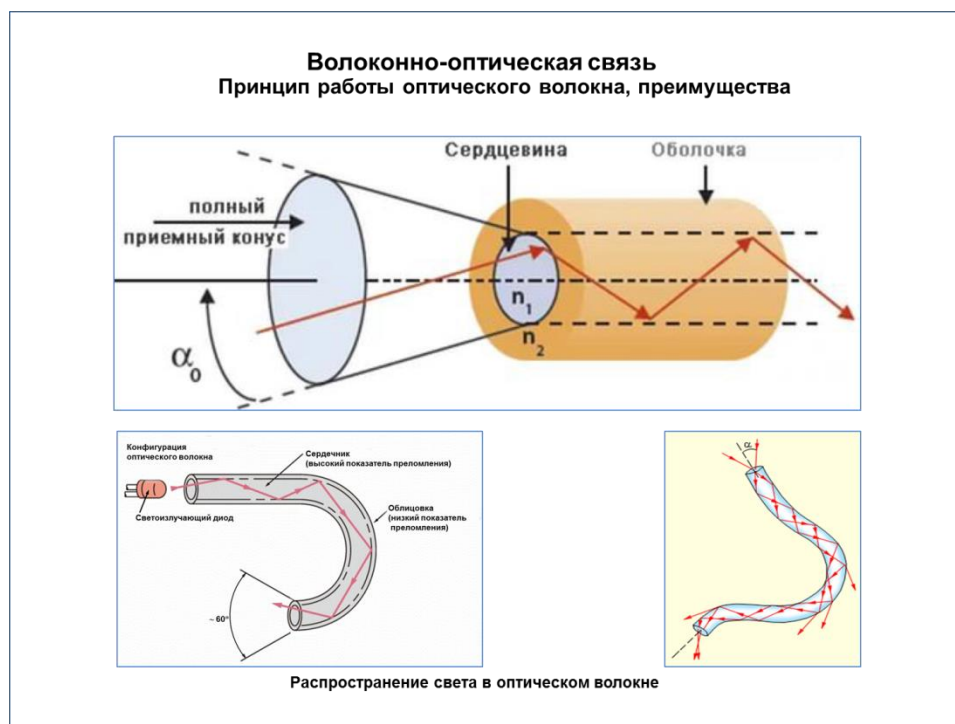


Рисунок 7.24

Типы оптоволокна

В зависимости от распределения показателя преломления и от величины диаметра сердечника оптоволокна подразделяются на *одномодовые* и *многомодовые* (рисунок 7.25).

Многомодовое оптоволокно, 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 оптоволокна составляет до 2,5 Гбит/с.

Одномодовое оптоволокно (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 оптоволокно и сопутствующие его компоненты приема-передачи оптического сигнала стоят дороже. Пропускная способность одномодового оптоволокна составляет 10 Гбит/с и более.

Среди достоинств оптических волокон можно указать следующие:

1. Широкая полоса пропускания обусловлена чрезвычайно высокой частотой оптической несущей - около 10^{14} Гц, которая обеспечивает потенциальную возможность передачи по одному оптическому волокну потока информации в несколько Тбит/сек. Большая полоса пропускания - одно из наиболее важных преимуществ оптического волокна над медной или любой другой средой передачи информации.

2. Малое затухание светового сигнала в волокне. Выпускаемое в настоящее время отечественное и зарубежное оптическое волокно имеет затухание 0,2-0,3 дБ на длине волны 1,55 мкм в расчёте на один километр. Малое затухание и небольшая дисперсия позволяют строить участки линий без ретрансляции протяжённостью более 100 км.

3. Высокая помехозащищённость. Поскольку волокно изготовлено из диэлектрического материала, то оно невосприимчиво к электромагнитным помехам со стороны окружающих медных кабельных систем и электрического оборудования, способного индуцировать электромагнитное излучение (линии электропередач, электродвигательные установки и т.д.). В многоволоконных оптических кабелях также не возникает проблемы перекрёстного влияния электромагнитного излучения, присущей многопарным медным кабелям.

4. Малый вес и объём. Волоконно-оптические кабели (ВОК) имеют меньший вес и объём по сравнению с медными кабелями в расчёте на одну и ту же пропускную способность. Например, 900-парный телефонный кабель диаметром 7,5 см на металлической основе может быть заменён одним волокном с диаметром 1 мм.

5. Высокая защищённость от несанкционированного доступа. Поскольку ВОК практически не излучает в радиодиапазоне, то передаваемую по нему информацию трудно подслушать, не нарушая приёма-передачи. Системы мониторинга (непрерывного контроля) целостности оптической линии связи,

используя свойства высокой чувствительности волокна, могут мгновенно отключить «взламываемый» канал связи и подать сигнал тревоги.

6. Простота прокладки, монтажа и эксплуатации оптического кабеля, возможность совмещения ВОЛС с любыми другими коммуникациями вследствие невосприимчивости ВОЛС к внешним помехам;

7. В волоконных световодах, в отличие от электрических цепей, в принципе невозможно искрение, что позволяет использовать их во взрывоопасных объектах;

8. 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.

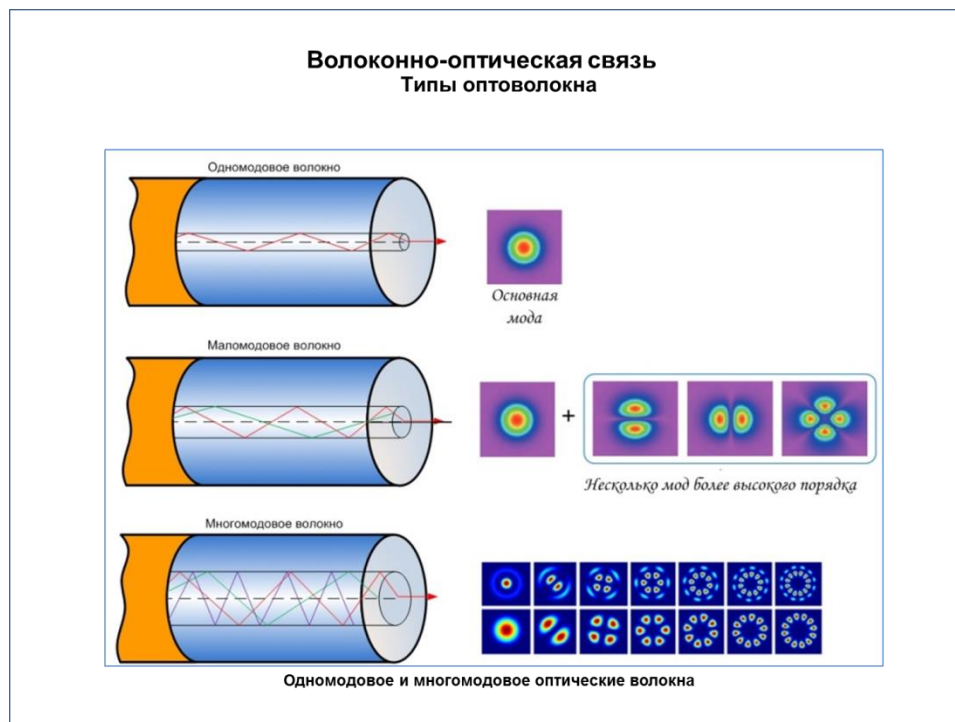


Рисунок 7.25

Области применения оптоволокон, помимо сферы телекоммуникаций

На сегодняшний день область применения оптического волокна не ограничивается лишь телекоммуникационными сетями. Оно используется в самых различных сферах человеческой деятельности. В области медицины ОВ используется в рентгеновских аппаратах. В них оптоволоконно обеспечивает гальваническую развязку между источником высокого напряжения и низковольтным управляющим оборудованием, изолируя, таким образом, пациентов и персонал от высоковольтной части аппаратуры. В распределительных устройствах электрических подстанций ОВ используется в системах защиты как датчик, регистрирующий возникновение дуги. Такой

датчик, представляющий собой отрезок оптоволоконна с прозрачным покрытием, регистрирует всей своей поверхностью излучение вспышки света, возникающей при дуговом коротком замыкании.

Датчики на основе оптических волокон применяются в различных измерительных системах, где вследствие экстремальных условий (повышенная радиация, температура или электромагнитное поле) невозможно применение традиционных электрических приборов. Например, в системах измерения температуры в реактивных двигателях самолета, в аппаратах МРТ (томографические медицинские аппараты для исследования внутренних органов, в том числе головного мозга) и др. Датчики на основе оптических волокон могут измерять частоту вибраций, вращения, смещения, скорость и ускорение, вращающий момент, скручивание и другие параметры.

Сегодня разработаны волоконно-оптические гироскопы (ВОГ), работающие на основе **эффекта Саньяка**. Данный гироскоп не имеет никаких подвижных частей, что делает его весьма надежным устройством. Конечно, в современных навигационных системах используется целый ряд различных датчиков, позволяющих определить положение подвижного объекта: спутниковая навигация (GPS, GLONASS), гироскопы, акселерометры и т.д. (рисунок 7.26). Однако независимую навигационную систему можно создать только на основе инерциальных датчиков, таких как гироскопы. К настоящему времени достигнута разрешающая способность и стабильность нулевой точки оптического гироскопа примерно $0,001^\circ/\text{ч}$. В последнее время кольцевые лазерные гироскопы стали применяться в инерциальной системе отсчета не только в самолетах «Боинг» 757/767, но и в аэробусах А310. В Японии опубликованы сообщения об измерении ими угловой скорости $0,01^\circ/\text{ч}$.

Также оптоволоконно применяется в охранной сигнализации на особо важных объектах. Когда злоумышленник проникает в запретную зону, условия прохождения света через световод изменяются, и срабатывает сигнализация.



Рисунок 7.26

Современные разработки оптоволокна

Инновации в сфере волоконной оптики появляются постоянно, и отрасль телекоммуникаций не является единственной заинтересованной отраслью в развитии оптических волокон - область применения оптических волокон крайне широка.

Периодически создаются новые типы оптических волокон (рисунок 7.27). Например, были разработаны фотонно-кристаллические световоды, в которых распространение света основано на принципах, отличных от полного внутреннего отражения. Такие волокна могут использоваться в качестве газовых, жидкостных или химических датчиков, для транспортировки мощного излучения в промышленных или медицинских целях, для создания новых типов источников излучения на основе нелинейных явлений (при условии заполнения сердцевины газом) и т.д.

Разрабатываются также оптические волокна, которые обеспечивают возможность передачи энергии лазерного излучения высокой мощности (нескольких киловатт). Теоретически установлено, что возможна передача излучения мощностью 10 кВт по волокну длиной 250 м при диаметре сердцевины 150 мкм. Главным физическим явлением, которое ограничивает передаваемую мощность, является вынужденное **рамановское рассеяние**.

Также стоит отметить, что сегодня активно разрабатываются многосердцевинные волокна. Их использование позволит значительно увеличить общую пропускную способность ВОЛС.

Подытоживая вышесказанное, еще раз обратим внимание на этапы развития волоконно-оптических линий связи.

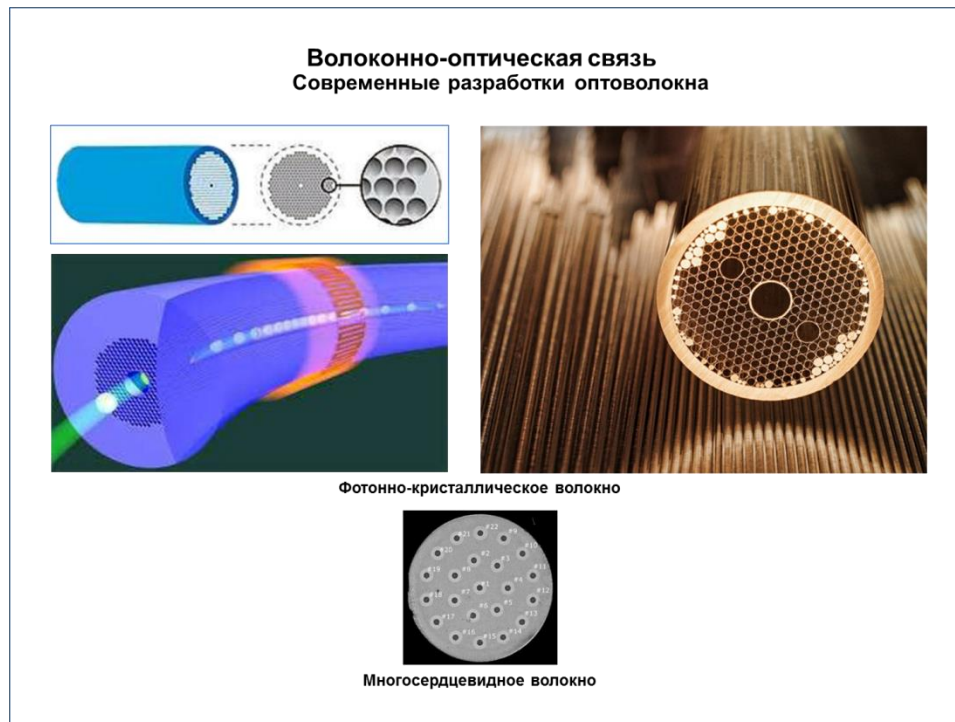


Рисунок 7.27

Этапы развития ВОЛС

В своем развитии ВОЛС прошли несколько этапов, решались фундаментальные проблемы, интенсивно развивалась наука и технология.

Большая часть проблем и одновременно основные достижения и возможности ВОЛС связаны с двумя элементами систем: волоконными световодами и лазерами. В развитии оптических систем разработчики стремились реализовать два принципа: «**быстрее**» и «**дальше**».

1 этап

В середине 70-х годов XX века появились *полупроводниковые лазеры* и *волоконные световоды* с небольшим затуханием. Первые лазеры для ВОЛС имели длину волны излучения 0,85 мкм (**первое окно прозрачности волокна**) и невысокую эффективность; волоконные световоды были многомодовыми и имели затухание в несколько дБ/км. Поэтому ВОЛС хотя и показали преимущества перед системами на медных проводах, но имели скорости и расстояния передачи далекими от ожидаемых. Увеличению скорости передачи в первых ВОЛС мешала временная дисперсия прохождения оптического сигнала по волоконному тракту.

Первые волоконные световоды (многомодовые со ступенчатым профилем показателя преломления) из-за большой межмодовой дисперсии имели полосу пропускания не более 20 МГц · км. Эта проблема была достаточно быстро решена разработкой многомодовых волоконных световодов с градиентным профилем показателя преломления, которые обеспечили увеличение полосы пропускания до 160 МГц · км.

2 этап

Следующим этапом развития ВОЛС стало увеличение дальности передачи информации. Для этого было необходимо снизить величину затухания оптического сигнала в волоконном тракте. Разработка приемопередающей аппаратуры, работающей **во втором (1,3 мкм) спектральном диапазоне (окне)**, позволила снизить затухание в многомодовых волокнах с 3 дБ/км (0,85 мкм) до 1 дБ/км (1,3 мкм). Одновременно у многомодовых волокон повысилась и полоса пропускания до 500 МГц · км.

3 этап

Дальнейшее развитие ВОЛС в направлении «быстрее и дальше» связано с **одномодовым этапом истории ВОЛС**. Одномодовые волокна позволили значительно повысить скорость передачи информации за счет отсутствия межмодовой дисперсии, а переход в **третье спектральное окно (1,55 мкм)** позволил снизить потери в одномодовых волокнах с 0,35 дБ/км (1,31 мкм) до 0,2 дБ/км (1,55 мкм).

Открывшиеся возможности по наращиванию скорости и дальности передачи информации привели к значительному прогрессу цифровых систем передачи информации (**сети синхронной цифровой иерархии - SDH**). Потребность в развитии таких систем была очень высокой, так как объем передаваемого трафика непрерывно увеличивался, и это стимулировало работы по дальнейшему совершенствованию ВОЛС. Было показано, что увеличению скорости и дальности передачи информации в одномодовых системах препятствует хроматическая дисперсия в волокнах. Эта проблема была успешно решена при разработке оптических волокон с нулевой дисперсией в области длин волн 1,31 мкм (волокна типа G.652) и смещенной в области длин волн 1,55 мкм нулевой дисперсией (волокна типа G.653). Для увеличения дальности передачи информации стали использоваться регенераторы сигнала, которые преобразовывали оптический сигнал в электрический, восстанавливали его форму, а затем формировали оптический сигнал для дальнейшего прохождения по волоконному тракту.

4 этап

Следующий этап - использование оптических усилителей (ОУ), которые позволили эффективно увеличить дальность передачи. ВОЛС с оптическими усилителями и волокном G.653 обеспечивали передачу информации со скоростями до 40 Гбит/с на расстояние более ста километров.

Разработанные оптические усилители открыли важнейший этап в развитии волоконно-оптической связи - появились системы со спектральным уплотнением. В них используется такое свойство волоконных систем, как возможность независимой передачи информации на разных длинах волн, в разных каналах. Первые ВОЛС со спектральным уплотнением работали в разных спектральных окнах (1,31 мкм и 1,55 мкм). Но системы со спектральным уплотнением наиболее эффективны в **третьем спектральном окне (1,55 мкм)**, так как в этом случае один ОУ усиливает все информационные каналы, расположенные в окне.

Реализация уникальных возможностей таких систем (**плотного спектрального уплотнения - DWDM** и **высокоплотного спектрального уплотнения - HDWDM**), в свою очередь, потребовала решения еще одного ряда фундаментальных задач.

Во-первых, это **проблема четырехволнового смещения**. Наиболее эффективный путь построения ВОЛС со спектральным уплотнением - увеличение числа каналов. При увеличении дальности передачи приходится усиливать оптические сигналы в каждом канале, и при большой суммарной мощности в волокне начинают проявляться нелинейные эффекты. Для DWDM-систем наиболее существенным является эффект четырехволнового смещения, когда в спектре сигнала появляются нежелательные составляющие, перекрестные помехи. При спектральном способе дешифрации оптических сигналов это может привести к значительным ошибкам в передаче информации. Четырехволновое смещение наиболее сильно сказывается в случае равенства скоростей распространения оптических сигналов в каналах. По этой причине оптические волокна со смещенной нулевой дисперсией (G.653) не используются в DWDM-системах, а для уменьшения влияния четырехволнового смещения были разработаны волокна со смещенной ненулевой дисперсией (G.655) и *технология компенсации хроматической дисперсии*.

Во-вторых, кроме специальных оптических волокон для DWDM-систем были разработаны высокостабильные лазеры с узкой спектральной линией, а также **спектральные мультиплексоры/демультиплексоры**. Этот цикл работ потребовал значительного продвижения в физике и технологии лазеров и интегрально-оптических схем.

Дальнейшее развитие ВОЛС шло как по пути увеличения числа сравнительно «низкоскоростных» (несколько Гбит/с) каналов в DWDM- и HDWDM-системах, так и по пути дальнейшего увеличения скорости передачи информации в информационном оптическом канале. В настоящее время серийно выпускаются системы со скоростью передачи 40 Гбит/с, ведутся эксперименты на 100 Гбит/с. Однако уже на скоростях более 10 Гбит/с появляются ограничения, связанные еще с одним видом временной дисперсии — *поляризационно-модовой дисперсией (PMD)*. Решение этой проблемы потребовало проведения фундаментальных исследований и значительного продвижения в области технологии изготовления волоконных световодов и оптических кабелей, монтажа линии и контроля параметров тракта.

5 этап

В последнее время повышенное внимание уделяется не только высокоскоростным магистральным ВОЛС, но и локальным системам. Массовые локальные волоконно-оптические системы передачи должны обеспечить загруженность региональных и магистральных ВОЛС, повысить эффективность волоконно-оптических сетей связи. При этом целесообразно использовать многомодовые волоконные световоды. Появление новых высокоэффективных лазеров для локальных сетей позволяет значительно повысить скорость и дальность передачи информации в ВОЛС на основе многомодовых волокон.

Однако при этом появляется проблема «**центрального провала**» в многомодовых волокнах, связанная с несовершенством технологии изготовления заготовок для этих световодов. Значительные отклонения профиля показателя преломления от оптимального в центре волокна вызывали резкое увеличение дисперсии в случае использования современных лазеров. Эта проблема многомодового волокна была решена, что открыло новые возможности в развитии локальных ВОЛС и волоконно-оптических систем в целом.

Решение фундаментальных проблем было подкреплено развитием сопутствующих технологий, которые и обеспечили продвижение ВОЛС к потребителям по пути «быстрее-дальше». Наиболее существенные успехи наблюдались в технологии производства волоконных световодов и кабелей. Промышленность производит все необходимые виды оптических волокон и кабелей, обеспечивающие самые высокие параметры ВОЛС. При этом рост производства оптических волокон беспрецедентен: с 6,9 млн. км в 1990 г. до 76,6 млн. км в 2000 г. - в 11 раз. Современные технологии монтажа и измерения параметров волоконного тракта полностью соответствуют высокому уровню современных ВОЛС. Достаточно сказать, что сварочные аппараты, например, FSM-40S, обеспечивают эффективный монтаж волоконного тракта с потерями в месте сварки менее 0,02 дБ. Благодаря этому, а также развитию высоких технологий производства оптических передатчиков и приемников, сетевых технологий и технологий спектрального уплотнения и обеспечены высочайшие темпы развития ВОЛС.

Современные тенденции и приоритеты развития оптической связи

За годы развития по пути повышения скорости и дальности передачи информации, благодаря решению целого ряда фундаментальных проблем, в первую очередь уменьшения дисперсии и увеличения энергетических возможностей канала передачи, разработчики ВОЛС добились выдающихся успехов (рисунок 7.28). Все это время непрерывно увеличивался суммарный трафик, передаваемый по волоконным сетям, снижалась стоимость передачи бита информации. Яркий пример тому - **первая трансатлантическая ВОЛС ТАТ-8**, обеспечившая резкое увеличение передаваемой информации, стоимость телефонного канала при этом уменьшилась в сто раз: с 1 млн. долл. до 10 тыс. долл. В среднем **трафик ВОЛС удваивался каждые два года**, при этом объемы продаж удваивались за пять лет, т.е. цена передаваемой информации постоянно и существенно снижалась.

Показано, что волоконные системы обладают практически неограниченными возможностями по наращиванию трафика и способны решить все задачи, которые ставит перед ними информационное общество.

Однако *на современном этапе развития ВОЛС*, кроме указанных выше приоритетов, необходимо больше внимания уделять такому критерию, как эффективность. А эффективность в значительной мере зависит от загрузки каналов передачи. Если раньше спрос на полосу передачи значительно превосходил предлагаемые возможности, то в настоящее время волоконная оптика слишком сильно «ушла в отрыв», возможности ВОЛС стали опережать

потребности клиентов. Да и трудно рассчитывать на такой рост трафика, который имел место в 90-х годах прошлого века.

Например, с 1995 г. по 1999 г. трафик Интернета увеличился в 30 раз. *В настоящее время*, хотя темпы роста снизились, ВОЛС продолжают развиваться, роль волоконных систем в телекоммуникационных системах усиливается. Однако, настала пора менять приоритеты и прилагать более значительные усилия по повышению эффективности телекоммуникационных систем, поиску клиентов, формирования нового рынка услуг.

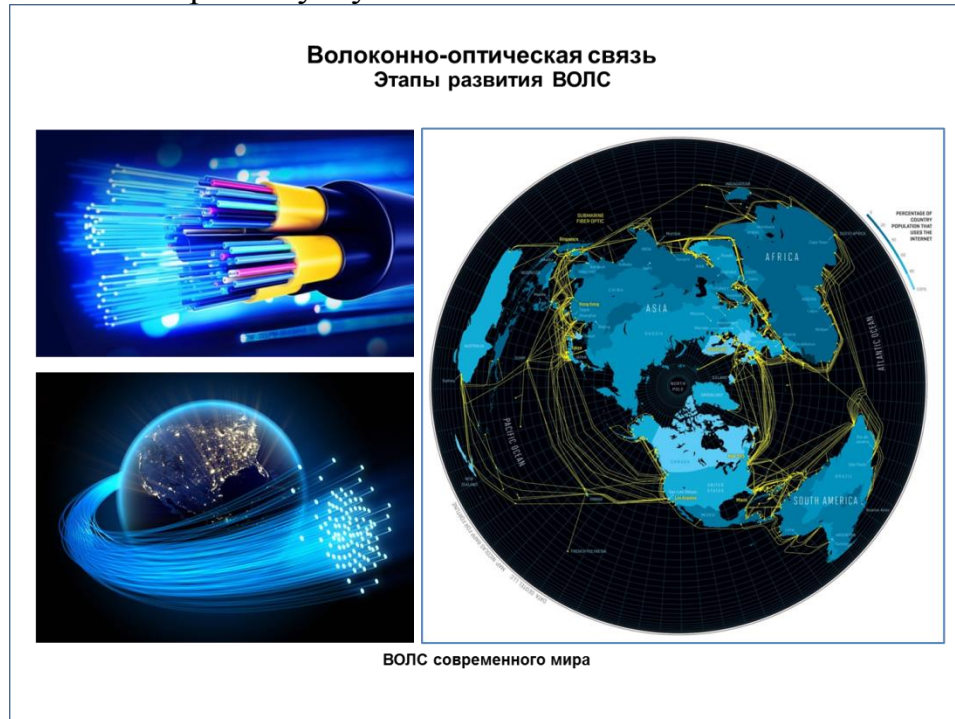


Рисунок 7.28

Атмосферные оптические линии связи

Прогресс не стоит на месте, в настоящее время активно тестируются новые способы передачи сигнала. К примеру, все большую популярность набирают атмосферные оптические линии связи (АОЛС), которые делают возможной передачу данных через атмосферу по лазерному лучу (рисунок 7.29).

Очередная волна интереса к АОЛС возникла в результате смены приоритетов в требованиях к линиям связи. Причем на первый план вышли те, которым наилучшим образом соответствуют возможности АОЛС. Кроме того, многолетняя работа ученых и инженеров (главным образом в области приемопередающих устройств, дающих возможность преодолевать влияние атмосферных колебаний на оптический сигнал) позволила создать аппаратуру, обеспечивающую эффективное использование АОЛС в ряде конкретных направлений.

Современное широкое распространение АОЛС во многих странах мира началось в 1998 году, когда были созданы недорогие полупроводниковые лазеры мощностью в 100 мВт и более. В это же время возникла потребность в лазерной связи, так как стали стремительно развиваться информационные технологии. Резко увеличивается число абонентов, требующих предоставления таких телекоммуникационных услуг, как Интернет, IP-телефония, кабельное

телевидение с большим числом каналов, компьютерные сети и т.д. В результате возникла проблема «последней мили», то есть подключение широкополосного канала связи к конечному пользователю. Прокладка новых кабельных сетей требует крупных капиталовложений, а в ряде случаев, особенно в условиях плотной городской застройки, очень трудна или даже невозможна. Оптимальным решением проблемы последнего участка является использование беспроводных линий передачи.

Принцип работы

Беспроводные оптические системы используют технологии организации высокоскоростных каналов связи посредством инфракрасного излучения. Это делает возможной передачу любых данных: текстовых, звуковых, графических через атмосферное пространство без использования стекловолокна.

Передатчиком служит мощный полупроводниковый лазерный диод. Входной электрический сигнал поступает в приемопередающий модуль, в котором кодируется различными помехоустойчивыми кодами, модулируется оптическим лазерным излучателем, фокусируется оптической системой передатчика в узкий коллимированный лазерный луч, и передается в атмосферу.

На принимающей стороне оптическая система фокусирует оптический сигнал на высокочувствительный фотодиод, который преобразует оптический пучок в электрический сигнал. Далее сигнал демодулируется и преобразуется в сигналы выходного интерфейса.

Скорость передачи информации, достигаемая в беспроводном оптическом канале, сравнима с оптоволоконным. Некоторые модели позволяют построить соединение пропускной способностью 100/200 Мбит/с. В настоящий момент также есть модель со скоростью 10 Гбит/с в **полнодуплексном** режиме, это система Artolink, единственная представленная на мировом рынке беспроводная система связи, осуществляющая передачу данных на такой скорости. Производится на предприятии КРЭТ – Государственном Рязанском приборном заводе (ГРПЗ).

Преимущества

Водные и транспортные магистрали не являются помехой для АОЛС, равно как и любые непроходимые местности, где прокладка кабельных соединений невозможна или затруднена. Системы вне конкуренции в случае сжатых сроков, так как запуск канала занимает всего несколько часов.

Они могут применяться только на соединениях типа «точка - точка» и оперируют очень узкой диаграммой направленности излучения, поэтому можно создать почти неограниченное количество каналов в непосредственной близости друг от друга.

Вопрос безопасности имеет особое значение в системах беспроводной связи. Однонаправленный луч света атмосферной оптической линии связи перехватить трудно. АОЛС-системы нечувствительны к электромагнитному шуму, не производят его. У них лучшая, чем у радио, защищенность.

Именно поэтому эти системы активно используются в силовых ведомствах для организации временных линий связи, беспроводных высокоскоростных защищенных каналов связи на дистанциях от 50 м до 7 км. При этом АОЛС Artolink производства ГРПЗ – единственное на рынке подобное оборудование, обеспечивающее дальность связи до 7 км.

Системой Artolink уже пользуются крупнейшие российские компании, в числе которых «Газпром», РЖД, «Роснефть», «Ростелеком», «Мегафон» и другие. Оборудование Artolink эксплуатируется на всей территории России, в странах СНГ и дальнем зарубежье: США, Индии, Сирии, Южной Корее, странах Евросоюза и других.

Но, несмотря на это, оптоволокно продолжает активно использоваться в самых высокотехнологичных областях промышленности и заслуженно признано материалом XXI века.



Рисунок 7.29

Развивается также космическая лазерная связь. Эта связь свободна от недостатков АОЛС (рисунок 7.30).

Лазерная связь в космосе

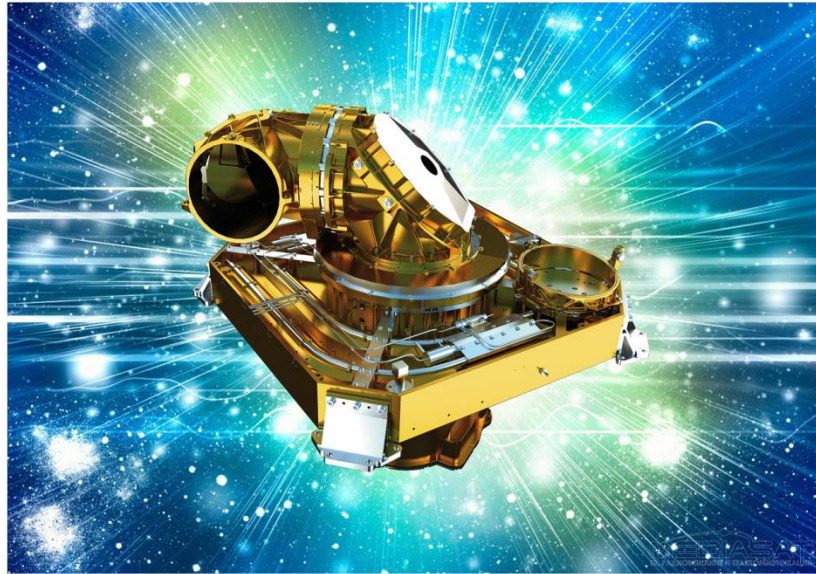


Рисунок 7.30

ЛЕКЦИЯ 8

Тема 7. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В КБ-2 РЯЦ-ВНИИЭФ





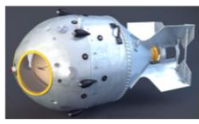

Наследие Кочарянца

Бомбы



Успешное проведение первого ядерного испытания явилось основанием для конструирования серийного образца авиационной бомбы с атомным зарядом. Её размеры и общий вес лимитировались возможностями существующего самолета - бомбардировщика ТУ-4.

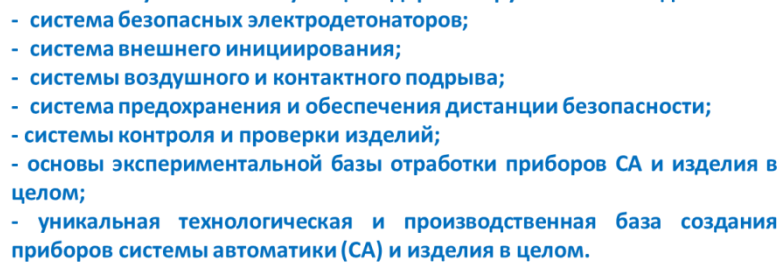
Приспособить ее к существующему самолету оказалось непростым делом. Нужно было обеспечить безопасность людей при установке бомбы на самолет и в процессе полета, а далее осуществить взрыв после сброса бомбы. Важным при этом было сохранить экипаж самолета и вообще целостность улетающего бомбардировщика.


Создание атомной бомбы как боеприпаса потребовало решение ряда новых, специфических задач, связанных, в основном, с необходимостью отношения к атомной бомбе как к летальному аппарату. Конструкция и летно-технические характеристики должны были обеспечить надежную доставку бомбы к цели, а автоматика обеспечить гарантированный подрыв атомного заряда только у цели и только при боевом применении.

К решению этих задач по ТЗ КБ-11 были привлечены ведущие организации различных министерств и ведомств.









Наследие Кочарянца

Приборы СА



Начиная с 1955 года во ВНИИЭФ велись интенсивные поиски путей создания надежных и малогабаритных приборов для системы автоматики боеприпасов, прежде всего в интересах обеспечения безопасности при эксплуатации и боевом применении. Предпринимались попытки найти рациональные методы построения малогабаритных приборов не только барометрических, но и ряда других, например, инерционных, аэродинамических, интегрирующих аэродинамический напор и барометрическое давление, комбинированных, т.е. работающих на использовании нескольких физических факторов и т.п.

Барометрические приборы критической высоты вначале разрабатывались с фиксированными ступенчатыми уставками или уставками, задаваемыми вручную по специальной шкале и переводной таблице. Далее стали разрабатываться приборы с дистанционно задаваемой уставкой от пульта управления.






Наследие Кочарянца

Приборы СА



На первых ЯБП предусматривался только воздушный подрыв, поскольку считалось, что при встрече с преградой, когда перегрузки могли достигать нескольких тысяч ед., физическая схема заряда будет нарушена. В качестве приборов неконтактного подрыва использовались в одном из каналов радиодатчик, во втором - бародатчик.

Барометрические датчики воздушного подрыва хорошо себя зарекомендовали в системе автоматики ядерных авиабомб. Однако большая разница в скоростях движения авиабомб и ББ баллистических ракет приводила к тому, что на первых образцах ББ погрешность срабатывания бароприборов по высоте была на порядок выше по сравнению с аналогичной погрешностью при испытаниях авиабомб.

Для обеспечения возможности применения бародатчиков в боеголовках ракет потребовалось проведение серьезных дополнительных исследований. В ходе этих работ было установлено влияние динамики движения боеприпасов на ошибки бародатчиков по высоте срабатывания. Динамику движения ББ было предложено определять экспериментально путем отстрела их уменьшенных моделей из гладкоствольных пушек в свободный полет на измерительной трассе. Используя возможности измерительной трассы и результаты натурных макетных испытаний, были отработаны принципы баллистического проектирования системы неконтактного подрыва на основе бародатчиков. Эти результаты были использованы при разработке конструкций бароприборов, которые были применены в системах неконтактного подрыва первых переданных на вооружение боеприпасов.








Наследие Кочарянца

Приборы СА

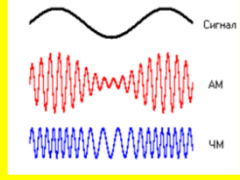


Кроме бародатчиков большое внимание уделялось разработке радиодатчиков.

В КБ-2 с начала 1960-х годов разрабатывался радиодатчик на импульсном принципе действия. Проведенные одновременно испытания импульсного РД и частотного РД (разработки СКБ-885 МРТП) зарегистрировали более четкое срабатывание импульсного РД по сравнению с прибором с частотной модуляцией. Тем самым была экспериментально подтверждена целесообразность использования для ракетных комплексов импульсного радиодатчика.

К этому времени стала понятна необходимость сосредоточения в атомной отрасли разработки и производства радиодатчиков и радиотелеметрических систем. Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 23.02.1966 г. СКБ-326 было переведено из Минрадиопрома в Министерство среднего машиностроения. Решением руководства отрасли на базе СКБ-326 было создано КБ-3 – горьковского филиала КБ-11, получившее позже название «Горьковское конструкторско-технологическое бюро измерительных приборов» (ГКТБ ИП), впоследствии НИИИС. Научным руководителем в первые годы был главный конструктор КБ-11 **С.Г. Кочарянец**.

Частотная модуляция (ЧМ) — вид аналоговой модуляции, при которой модулирующий сигнал управляет частотой несущего колебания. По сравнению с амплитудной модуляцией здесь амплитуда остается постоянной.



Сигнал может модулировать амплитуду (АМ) или частоту (ЧМ) несущего колебания

При импульсном принципе передачи радиопередатчик работает в течение весьма коротких промежутков времени, разделенных длительными паузами. Последовательность импульсов характеризуется частотой высокочастотных колебаний, длительностью импульса, периодом повторения импульсов и амплитудой импульсов.








Наследие Кочарянца

Приборы СА



К началу 60-х годов в КБ-11 были проведены исследования различных способов реализации воздушного подрыва ББ БРДД, и было показано, что на ББ с баллистическим коэффициентом, в два-три раза меньшим, чем для ББ предыдущего поколения, наиболее целесообразным является переход от бародатчиков к датчикам, основанным на однократном интегрировании ускорений.

Первые приборы, разработанные на принципе интегрирования ускорения в НИИ-4 МО и НИТИ-11, назывались автономными системами неконтактного подрыва (СНП). Начало работ в КБ-11 по этому направлению относится к 1962 году.

Приборы типа СНП были построены на основе акселерометра, электрохимического интегратора выходного тока акселерометра и магнитных усилителей, которые управляли электромагнитным исполнительным реле.

Первые приборы СНП прошли летные испытания в составе ББ и показали удовлетворительные результаты по точности выдачи исполнительной команды над целью, но по различным причинам применения не получили. В числе таких причин было отсутствие электрохимических интеграторов, полностью удовлетворяющих требованиям при работе в составе ББ по климатическим условиям, высокоинтенсивным механическим воздействиям, гарантированному сроку годности. Было принято решение искать новую приборную реализацию этой идеи.

Баллистический коэффициент — одна из ключевых аэробаллистических характеристик летательного аппарата, которая нашла широкое применение при выполнении баллистических расчетов силы аэродинамического сопротивления воздушной среде.

В самом общем случае **баллистический коэффициент** зависит от геометрической формы объекта, его ориентации относительно набегающего потока и массы. Он определяет скоростные свойства летящих объектов и характеристики их рассеяния (например в случае головных частей баллистических ракет).

Для головной части (ГЧ) **баллистический коэффициент** определяется через так называемую «поперечную нагрузку»:

$$C_{xH^2}/m,$$

где:

- C_x — баллистический коэффициент;
- H — калибр ГЧ в метрах;
- m — масса ГЧ в килограммах;
- γ — коэффициент аэродинамической формы ГЧ, который равен отношению аэродинамической функции рассматриваемой ГЧ и ГЧ, принятой в качестве эталона.

Чем больше эта нагрузка, тем выгоднее головная часть в баллистическом отношении и тем меньше величина её баллистического коэффициента.





Прибор прошел полный объем лабораторно-конструкторской отработки. Летные испытания завершились положительными результатами по точности высоты срабатывания над целью. Серийное изготовление приборов началось с 1974 года.



В 1979 году была начата разработка нового прибора неконтактного подрыва. Необходимость его разработки была связана с более высокими требованиями к техническим характеристикам: повышением уровня стойкости к поражающим факторам ЯВ, снижением габаритов и массы, существенным уменьшением времени ввода полетного задания.





Наследие Кочарянца

Приборы СА



При разработке системы автоматики изделия большое внимание уделялось приборам, обеспечивающим безопасность боеприпасов при эксплуатации и применении. Данная задача решалась путём применения ступеней предохранения, разработка которых шла параллельно с критическими датчиками.

Развитие ступеней предохранения происходило по пути использования следующих физических принципов: барометрического, инерционного, интегрирования внешнего ускорения по времени.

В середине 1960-х годов успешно разработаны и применены в изделиях ряд ступеней предохранения на барометрическом принципе. Приборы нашли широкое применение более чем в десяти типах боеприпасов и применялись в разработках вплоть до середины 1970-х годов.

Параллельно разработкам ступеней предохранения на барометрическом принципе, начиная с середины 1960-х годов, проводились исследования по поиску более универсального, более информационного физического принципа работы ступеней предохранения. По результатам многочисленных исследований было признано, что наиболее перспективным является принцип прямого интегрирования внешнего ускорения по времени.






Наследие Кочарянца

Приборы СА



В связи с тем, что в середине 1970-х годов появились дополнительные требования по стойкости изделий к поражающим факторам ЯВ, в период с 1980 по 1985гг. проведена разработка инерционных интегрирующих ступеней предохранения на принципе интегрирования осевой составляющей ускорения с помощью магнитного индукционного демпфера, отличающихся от аналогичных приборов ранней разработки меньшими массо-габаритными характеристиками с обеспечением стойкости к поражающим факторам ЯВ.

Данные приборы использовались в 13 изделиях.

В период (1960 – 1970 гг.) проводились разработки инерционных включателей, релейно срабатывающих на различных участках движения изделия при достижении внешним физическим фактором (ускорением) заданного значения.

Инерционные включатели нашли применение более чем в 25 изделиях различного класса.








Наследие Кочарянца

Приборы СА



В составе первых ядерных боеприпасов предусматривалось контактное взрывное устройство (КВУ), которое должно было выдавать команду на пассивный подрыв/ликвидацию взрывчатки атомного заряда бомбы в случае удара ее о землю, если не произошел высотный подрыв.

На очередном этапе разработки боеприпасов было предложено обеспечить реализацию контактного подрыва при отказе системы воздушного подрыва, при этом система контактного подрыва должна была стать неотъемлемой частью системы автоматики боеприпасов.

Основная трудность решения этой задачи состояла в обеспечении быстродействия работы системы подрыва атомного заряда при ударе бомбы о преграду.

В 1954 году в КБ-11 был создан специальный отдел. В короткое время были разработаны датчики и устройства для контактного подрыва бомб и ГЧ с ядерными зарядами ракет различных классов. Параллельно с этим разрабатывались и расчетно-экспериментальные методы определения и подтверждения работоспособности и надежности системы датчиков ударных (СДУ).








Наследие Кочарянца

Приборы СА



Вслед за разработкой КВУ для бомб, встала значительно более сложная задача - создание КВУ для головных частей ракет различных классов. Сложность задачи состояла в том, что скорости встречи ГЧ с преградами, по сравнению с бомбами, существенно возросли.

Во всех случаях соударений ГЧ с преградами КВУ или СДУ должна выдать команду на подрыв заряда до нарушения его физической схемы.

При разработке КВУ для первых атомных бомб РДС-1, РДС-3 и РДС-4 были заложены основные принципы построения КВУ (СДУ). Разработка СДУ для последующих атомных бомб являлась ее совершенствованием. Совершенствование шло, в основном, путем разработки новых конструкций ударных датчиков инерционного и реакционного типа применительно к условиям работы и размещения их в корпусах бомб.

Дальнейшее развитие и совершенствование СДУ для применения в боеприпасах ракет происходило также за счет разработки новых ударных датчиков, в соответствии с возрастающими требованиями по стойкости к воздействию факторам, условиям взаимодействия с преградами и миниатюризации.







Наследие Кочарянца

Приборы СА



Неотъемлемой частью системы автоматики специзделий, от которых в значительной степени зависят тактико-технические характеристики ЯБП, являются химические источники тока.

В первых ЯБП использовались аккумуляторные батареи с малым сроком хранения заряда, которые необходимо было заряжать перед применением. Это увеличивало время подготовки ЯБП к применению.

Необходимость уменьшения этого времени, а также снижения массово-габаритных характеристик ЯБП, потребовала совершенствование источников тока.

Этими задачами долгое время занимались предприятия Электротехпрома. Разработка велась по двум направлениям – тепловых батарей для изделий с коротким временем работы и аккумуляторных батарей для изделий с длительным временем работы.







Наследие Кочарянца

Приборы СА



Основными разработчиками источников тока для специзделий были ГНПП «Квант», г. Москва и НИИХИТ, г. Саратов. Источники тока разработки этих предприятий устанавливались на все ЯБП КБ-11.

Критическое экономическое состояние предприятий - разработчиков и производителей источников тока в конце 80-х годов 20 века поставило под сомнение их дальнейшее существование и возможность обеспечения ЯБП источниками тока. В связи с этим, на основании указания Министра МСМ "О разработке и производстве источников тока для специзделий" и соответствующего приказа Директора ВНИИЭФ была поставлена задача разработки и производства ХИТ во ВНИИЭФ.

Разработка источников тока системы автоматики была выведена в КБ-2 в отдельное тематическое направление. Задача была решена, что позволило добиться энергетической и технологической независимости отрасли при создании ЯБП.







Наследие Кочарянца

Приборы СА



Заключительный этап отработки ЯБП – лётные испытания. И здесь основным инструментом, обеспечивающим получение необходимой информации, является система специального контроля, разработка которой с первых дней создания ЯБП велась в КБ-11 коллективом **С.Г. Кочарянца**.

Многофакторность условий развития взрыва, ограниченность времени жизни аппаратуры и ЯБП обусловили поиски новых методов и средств телеметрирования, где наиболее важными характеристиками стали быстродействие и высокая разрешающая способность.

При контроле, в процессе развития взрыва необходимо проведение измерений временных интервалов микросекундного диапазона, амплитуд импульсных напряжений (токов), нейтронных потоков, давления газа и т.п. При этом информация должна быть передана до разрушения аппаратуры, поэтому становление радиотелеметрии СК связано с разработкой методов контроля быстропротекающих процессов в момент развития взрыва.

Для контроля временных интервалов был реализован ждущий режим работы аппаратуры и метод непосредственной их передачи по радиоканалу с последующей регистрацией приемно-регистрирующей аппаратурой, что обеспечило проведение измерений до разрушения бортовой аппаратуры. С целью дальнейшего использования способа передачи информации в виде временных интервалов датчики физических величин создавались как преобразователи параметра во временной интервал.






Наследие Кочарянца

Приборы СА



Исторически, специальная радиотелеметрия разрабатывалась в той же организации, где создавался ядерный боеприпас при общем научном руководстве. Учитывая темпы создания и степень секретности проводимых работ, это было целесообразно со всех позиций.

До появления специального контроля при испытаниях изделий, в том числе и летных, применялся, ввиду отсутствия серийно производимой аппаратуры, радиотелеметрический комплекс, разработанный во ВНИИЭФ. Комплекс использовался для контроля медленно изменяющихся параметров. Это – срабатывание ступеней предохранения, измерение вибрационных перегрузок, температурный режим, давление и т.п. Было разработано несколько модификаций комплекса на основе передающих устройств и ряда передающих антенно-фидерных систем. Приемная аппаратура размещалась на самолетах, что позволило производить контроль изделий от старта до встречи с преградой.







Наследие Кочарянца

Приборы СА



В 1950 году началась разработка нового поколения радиотелеметрической аппаратуры, необходимость в которой возникла в ходе разработки и испытаний изделий с импульсными источниками внешнего инициирования в составе высоковольтной автоматики.

Перед разработчиками аппаратуры были поставлены задачи по обеспечению:

- измерения интервалов времени микросекундного диапазона;
- фиксации наличия внешнего импульса требуемой интенсивности;
- передачи информации о контролируемых параметрах в процессе взрыва.

При создании аппаратуры были проработаны и решены все возникавшие вопросы и разработана аппаратура контроля.

При проведении летных испытаний авиабомб РДС бортовая аппаратура контроля размещалась внутри корпуса. Время жизни аппаратуры во время взрыва обеспечивалось специальной защитой и расстоянием.






Наследие Кочарянца

Приборы СА



В течение 1955-1958гг. была разработана бортовая и приемно-регистрирующая радиотелеметрическая аппаратура нового поколения в составе передатчика, приемника, регистраторов осциллографического типа, антенно-фидерных систем и тестерной аппаратуры.

Была также отработана методика контроля.

Для приема информации был разработан ряд приемных антенн.

Эта система впервые была применена при испытаниях ракет в 1957 году. При этом приемно-регистрирующая аппаратура размещалась в автомобилях вблизи точки падения. Включение аппаратуры осуществлялось по проводным линиям связи с пункта управления, который был вынесен в безопасную зону.

Факультативно использовался вертолетный приемно-регистрирующий пункт, поднятый на высоту, при которой он находился в зоне максимума первого интерференционного лепестка диаграммы направленности бортовой передающей антенны в момент встречи изделия с земной поверхностью. Таким образом, уже в 1957 г. в системе специального контроля были заложены принципы организации радиосвязи с применением авиасредств.







Наследие Кочарянца

Приборы СА



В 1958г. проводились испытания ракет Р-12 и Р-7А. Прием информации обеспечивался вертолетными и самолетными комплексами на базе приемно-регистрирующих пультов. В процессе испытаний были отработаны методы использования авиационных комплексов, взаимодействие операторов, экипажа и командного пункта управления, отработан регламент подготовки комплексов, состав исходных данных для проведения испытаний.

Проведенные работы обосновали и подтвердили необходимость подъема приемно-регистрирующей аппаратуры на авиасредствах, что является рациональным решением в реальных условиях испытаний: лес, овраги, холмы, волнистая поверхность акватории. А также при этом значительно снижаются затраты на оборудование финишных позиций аппаратурой СК.






Наследие Кочарянца

Приборы СА



Начиная с 1959г., в связи с возросшими объемами параметров, контролируемых системой специального контроля, был заменен передатчик на более совершенный и разработаны новые бортовые согласующие устройства. Дополнительно были разработаны устройства, которые позволили осуществить в летных условиях контроль параметров заряда. Кроме того был обеспечен контроль кабельных датчиков СДУ, регистрировалась зависимость высоты полета изделия, как функция времени, прорабатывался вопрос контроля ряда медленно меняющихся параметров.

Размещение аппаратуры на полигоне (наземный факультативно устанавливаемый пункт) фактически явилось первой пробой создания наземного пункта приема сигналов специального контроля, что в дальнейшем было использовано при разработке ретрансляционных пунктов наземного комплекса специального контроля и затем пунктов прямого приема.





Наследие Кочарянца



Приборы СА

Начиная с 1968 года дальнейшее совершенствование системы специального контроля проводилось в направлениях:

- применение новой элементной базы;
- модернизация кодирования приемопередающего тракта;
- введение на приемных пунктах цифровой регистрации поступающей информации.

Работы во ВНИИЭФ по модернизации системы СК были завершены в 1972 году разработкой эскизного проекта на новую систему специального контроля. При разработке этой системы был использован целый ряд оригинальных решений, защищенных авторскими свидетельствами на изобретения. Решением руководства министерства материалы эскизного проекта и материальная часть в виде изготовленных образцов системы были переданы для проектирования в НИИИС.







Продолжение дела Кочарянца



Приборы СА

На последующих этапах разработки ЯБП усложнялись алгоритмы взаимодействия системы автоматики ЯБП с системами управления носителей, появлялись новые режимы боевого срабатывания ЯБП у цели, расширялся круг задач решаемых системой автоматики ЯБП, в том числе повышение уровня безопасности на всех этапах жизненного цикла, уровня защищенности от несанкционированных действий, управление различными системами боевого блока и КСП ПРО и пр., что требовало постоянного совершенствования системы автоматики. Это достигалось за счет более широкого внедрения микромеханики, электроники, радиоэлектроники, а впоследствии микроэлектроники, МЭМС и МСТ технологий.

В настоящее время основу системы автоматики ЯБП составляет бортовой компьютер, который решает в реальном масштабе времени задачи управления различными системами ЯБП, а также обеспечивает формирование команд на боевое срабатывание в любой точке траектории полета ЯБП и в различных режимах.





ЛЕКЦИЯ 8

Тема 8. КОМПЕТЕНЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ КБ-2 РФЯЦ-ВНИИЭФ

В данной лекции представлена информация о конструкторском бюро №2 РФЯЦ-ВНИИЭФ, его направлениях деятельности, его основных компетенциях, используемых технологиях проектирования и расчетного анализа, об испытательных технологиях, используемых при отработке разрабатываемых изделий и приборов, применяемом при этом стендовом оборудовании и измерительных технологиях, а также о производственно-технологической базе КБ. Она позволит представить спектр знаний и умений, которыми должны обладать специалисты КБ, как интегрально, так и индивидуально по направлениям научно-технической деятельности.

Кроме того, в разрешенных рамках, дана объективная информация о том, с какой тщательностью ведется отработка боеприпасов, перед тем как передать их в серийное производство и на вооружение.

При разработке боеприпасов, которые ведет КБ-2, необходимо, кроме общей инженерной подготовки в области механики, электротехники, радиотехники, микроэлектроники и во многих других областях, иметь хорошее представление о конструкциях летательных аппаратов и приборах системы автоматики, используемых физических принципах полета летательных аппаратов.

Разработчикам боеприпасов необходимы знания теории прочности и устойчивости конструкций, аэродинамики больших скоростей, баллистики, теории надежности и стойкости конструкций к различным рода климатическим и механическим воздействиям и пр. Все перечисленные разделы науки и техники тесно переплетаются между собой и проявляются в сложной взаимосвязи, характерной при проектировании боеприпасов.

КБ-2 является самым крупным научно-конструкторским подразделением РФЯЦ-ВНИИЭФ. Спектр направлений его научно-производственной деятельности очень широк и многогранен. Для выполнения стоящих перед КБ задач требуются высококвалифицированные, широко эрудированные специалисты в различных областях знаний, накопленных человечеством.

КБ-2 на протяжении всей своей истории ведет разработку боевого оснащения для комплексов оружия различного назначения, выполняя интегрирующую роль в этой области, т.е. объединяя результаты работ многих подразделений института, предприятий ОПК и организаций Минобороны в единое целое – в боеприпас, который является основной научно-технической продукцией предприятия.

КБ-2 было первопроходцем в этой области. Всё приходилось делать впервые, идти по неизведанному пути, полностью самостоятельно решать огромный комплекс сложнейших научно-технических, технологических, испытательных задач, как по боеприпасам в целом, так и по их составным частям. Специалисты КБ-2 блестяще справились с этой задачей, они заложили основы отечественной профессиональной школы.

На рисунке 8.1 представлено основное здание КБ с установленной на нем памятной доской с барельефом основателя КБ-2 выдающегося главного

конструктора, дважды Героя Социалистического Труда, кавалера шести орденов Ленина и ордена Октябрьской Революции, лауреата Ленинской, трёх Сталинских и Государственной премий, заслуженного деятеля науки и техники, почётного гражданина городов Саров и Гавар (Республика Армения), доктора технических наук, профессора Самвела Григорьевича Кочарянца. На слайде также помещена фотография бюста С.Г. Кочарянца, установленного на территории КБ-2 в 2019 году к 110 годовщине со дня его рождения.



Рисунок 8.1

Основными направлениями деятельности КБ-2 являются:

- Создание новых боеприпасов и их составных частей;
- Модернизация боеприпасов;
- Сопровождение серийного изготовления боеприпасов;
- Сопровождение боеприпасов в эксплуатации;
- Проведение работ по продлению сроков службы боеприпасов;
- Сопровождение утилизации боеприпасов, снятых с эксплуатации.

Ключевыми компетенциями являются:

1. Разработка:

- боеприпасов для различных видов ВС РФ;
- защитных контейнеров и эксплуатационного оборудования;
- системы автоматики подрыва и управления боеприпасов;
- высокопрочных ступеней предохранения системы автоматики и устройств предохранения заряда;
- приборов системы специального контроля параметров системы автоматики при летных испытаниях боеприпасов;
- химических источников тока резервного типа;

- электродвигателей и электроприводов;
 - систем ударных датчиков;
 - электрических соединителей автоматической стыковки;
 - систем экспресс оценки состояния боеприпасов после нерегламентированных аварийных воздействий;
 - широкополосных СВЧ генераторов шума;
 - бесплатформенных инерциальных навигационных систем на основе создаваемых в КБ спецвычислителей, прецизионных акселерометров и датчиков угловых скоростей;
 - обычных вооружений;
 - лазерных неконтактных датчиков цели;
 - ракетных двигателей;
 - высокоточных временных устройств;
 - импульсных источников света;
2. Аэробаллистическое проектирование боеприпасов;
 3. Расчетный анализ прочности, стойкости;
 4. Разработка и изготовление изделий микроэлектроники.

Какие же технологии проектирования и расчетного анализа используют специалисты КБ-2 в своей работе?

При разработке изделий и их составных частей используется широкий спектр программных комплексов дву- и трехмерного проектирования и расчетного анализа в том числе специализированных программ собственной разработки.

На рисунке 8.2 представлен базовый маршрут расчетного моделирования при разработке изделий и их составных частей.

Как видим, началом всему является техническое задание на разработку. Начальным этапом является анализ ТЗ и проведение схемно-конструктивных проработок. Далее проводится расчетное моделирование разрабатываемой конструкции с учетом воздействующих на нее факторов различной природы возможных на различных этапах ее жизненного цикла. Далее проводится анализ результатов моделирования и выдаются, при необходимости, рекомендации по доработке конструкции, а также вырабатываются предложения по объему наземной экспериментальной отработки изделия, планируется проведение экспериментов, при этом также проводится их расчетное моделирование.

После проведения наземных и летных испытаний вновь проводится расчетное моделирование в условиях проведенных испытаний, по результатам которого проводится тестирование вычислительных комплексов и совершенствование инженерных методик. После определенного объема предварительных испытаний конструкторской документации присваивается литера «О», затем проводятся заключительные предварительные испытания, а также государственные испытания. Заключительным этапом разработки является присвоение КД литеры «О₁».



Рисунок 8.2

В КБ определен базисный ряд современных методик.

Выбраны лучшие по возможностям и качеству программные комплексы, лидеры в различных видах анализа. Данные комплексы увязаны с концепцией сквозного проектирования на базе единого электронного описания изделий на всех этапах жизненного цикла, они обеспечивают высокий уровень моделирования реальных процессов - численный эксперимент дает ту информацию о поведении конструкций, которую невозможно зарегистрировать в натурном опыте.

При разработке изделий проводится математическое моделирование по направлениям: прочность, стойкость, разрушение, газодинамика, баллистика, тепло, террадинамика, электро-магнито механика, СВЧ и электронные приборы, радиационная стойкость, надежность и пр.

А также вибропрочность и ресурс (рисунок 8.3).

В ТЗ и государственных стандартах заданы требования по вибропрочности и виброустойчивости при широком спектре случайных воздействий. Вибропрочность и виброустойчивость подтверждаются наземной отработкой.

При проектировании с использованием современных расчетных комплексов проводятся **модальный, гармонический, спектральный анализ**, расчет усталостной прочности, разработка гибридных (численно-экспериментальных) расчетных моделей приборов, устройств и изделий в целом, виртуальные испытания с учетом реальных характеристик испытательного оборудования.

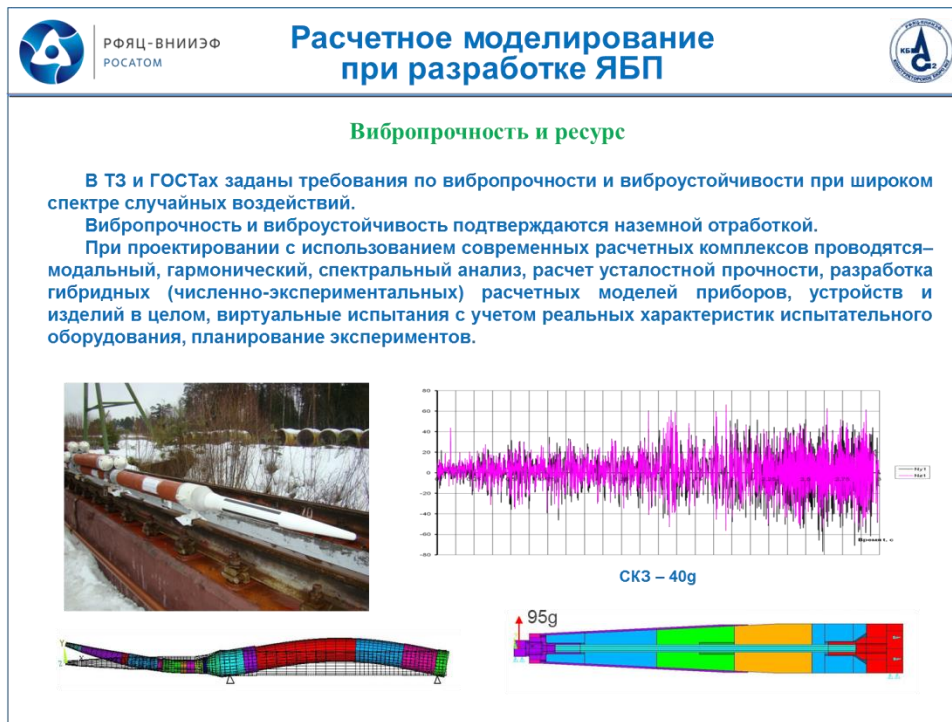


Рисунок 8.3

При разработке электро-магнитомеханических и СВЧ приборов широко используется метод конечных элементов, в том числе для мультидисциплинарного анализа (рисунок 8.4).

При этом решается широкий круг задач:

- 1) Расчеты напряженно деформированного состояния - статика, динамика, устойчивость.
- 2) Частотный и спектральный анализ приборов СА при различных возбуждающих воздействиях.
- 3) Расчеты связанных задач для малогабаритных деталей и узлов:
 - а) **пьезоэффект**;
 - б) термомеханическое взаимодействие;
 - в) магнитомеханическое взаимодействие;
 - д) взаимодействие электрического поля с механическими системами
- 4) Расчеты малогабаритных магнитных систем.
- 5) Расчеты электромагнитных приборов, как статические, так и динамические.
- 6) Расчеты электромагнитных и магнитоэлектрических приводов.

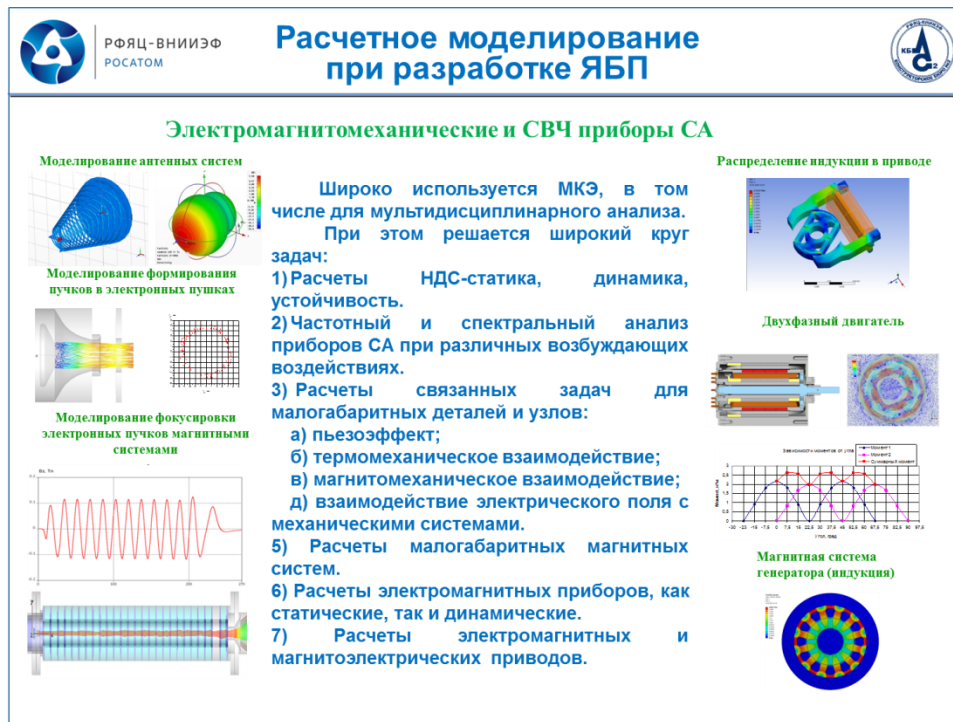


Рисунок 8.4

При аэродинамическом проектировании изделий решаются задачи выбора аэродинамической компоновки, конструкции и материалов корпуса изделия, обеспечивающих режимы его функционирования при всех условиях боевого применения.

Определение аэродинамических характеристик основывается на расчетно-экспериментальном определении всех параметров взаимодействия потока воздуха с поверхностью корпуса изделия.

При полете в плотных слоях атмосферы происходит интенсивный разогрев корпуса и всей конструкции изделия. На поверхности корпуса температура достигает температуры разрушения ТЗП и начинается его унос. Вследствие этого изменяются обводы изделия и состояние его поверхности (шероховатость, течение пленки расплава, вдув газообразных продуктов разрушения ТЗП в пограничный слой). Каждое из этих обстоятельств оказывает влияние на силовую часть взаимодействия и должно учитываться при определении АДХ и тепловых режимов изделия.

Аэродинамическое проектирование изделий осуществляется на основе комплексной расчетно-экспериментальной методики, основанной на совместном расчете движения изделия в атмосфере, обтекания его потоком воздуха, нагреве и уносе ТЗП.

Такая методика включает различные программы, которые во ВНИИЭФ в основном интегрированы в систему САПР-А. Указанная система создавалась в течение длительного времени с использованием результатов многих ведущих научных и проектных организаций. Программы этой системы, отработаны по результатам проектирования и экспериментальной отработки изделий, в том числе летных испытаний.

На следующих рисунках иллюстрация применения технологий проектирования и расчетного анализа конструкций на примере расчетно-экспериментальных исследований динамики деформирования транспортно-упаковочного комплекта ТК-С7М с тепловыделяющими сборками в условиях авиационной аварии.

На рисунке 8.5 показана постановка эксперимента на РКУ: угол встречи с преградой $3,5^\circ$, скорость $91,5 \text{ м/с}$ – практически осевой удар.



Рисунок 8.5



Рисунок 8.6. Фотография момента осевого столкновения ТК-С7М с преградой

Далее на рисунках 8.7, 8.8 показаны результаты расчетного анализа столкновения.



Рисунок 8.7

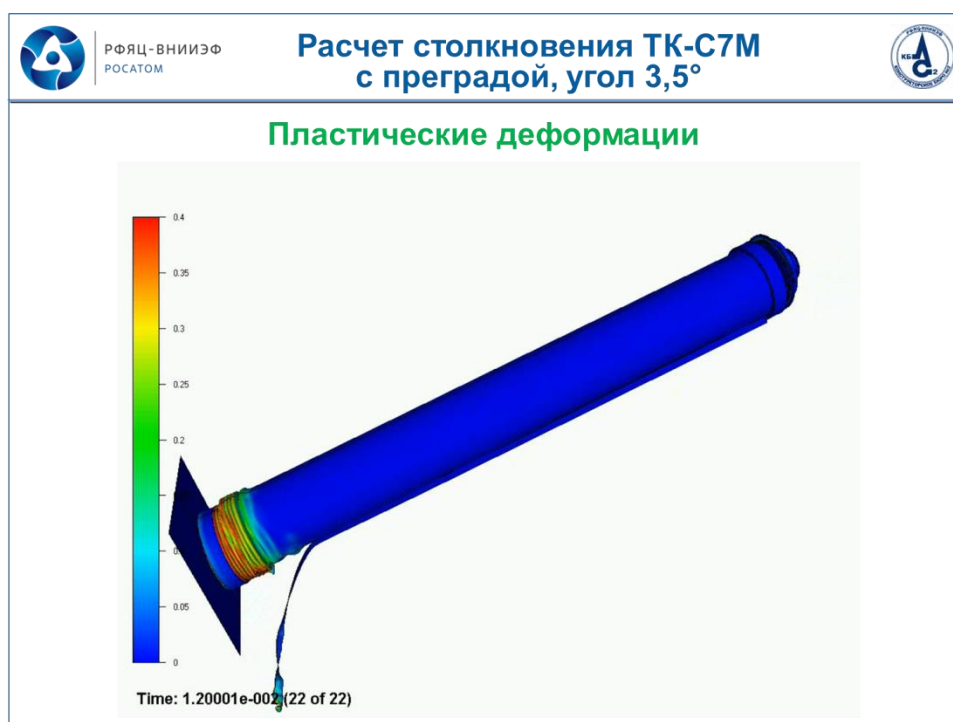


Рисунок 8.8. Расчетный уровень пластических деформаций

На рисунке 8.9 приведены результаты расчета и эксперимента. Видно хорошее совпадение – 8 гофров в расчете и те же 8 в эксперименте.



Рисунок 8.9

На рисунке 8.10 показана постановка эксперимента при угле встречи с преградой $72,5^\circ$ и скорости $97,5$ м/с.



Рисунок 8.10

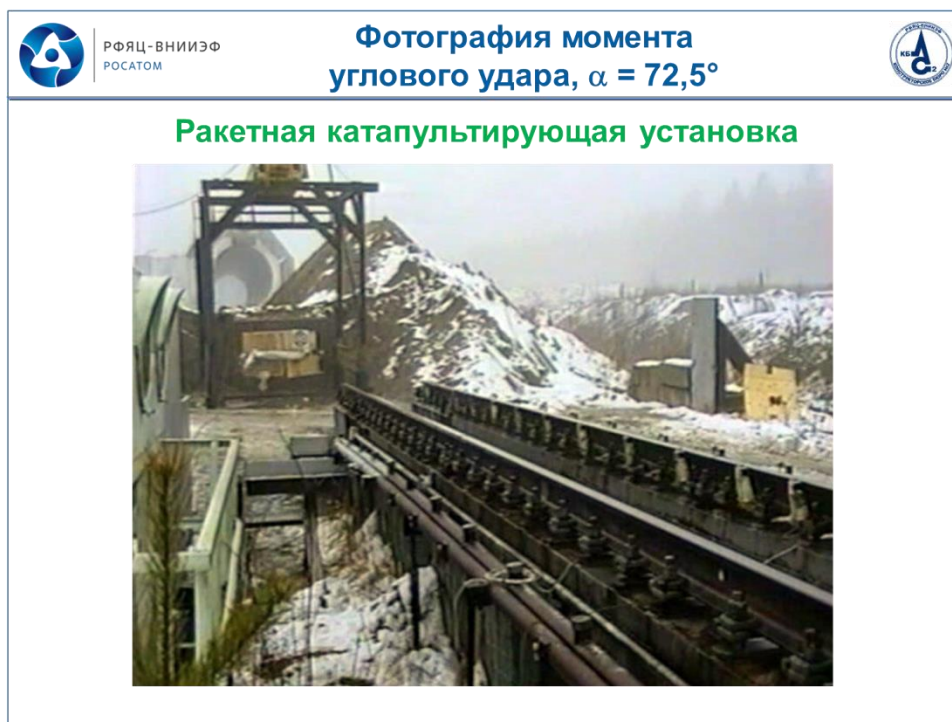


Рисунок 8.11. Фотография момента углового столкновения ТК-С7М с преградой



Рисунок 8.12. Расчетный анализ



Рисунок 8.13. Пластические деформации

На рисунке 8.14 результаты расчета и эксперимента. Также видно великолепное совпадение, как по форме, так и по уровню деформаций.



Рисунок 8.14. Результаты расчета и эксперимента

Далее об экспериментальной базе и испытательных технологиях, применяемых в КБ-2 при отработке изделий и их составных частей.

Экспериментальная база для отработки приборов системы автоматики включает в себя установки и стенды для испытаний на механические, климатические и специальные воздействия (рисунок 8.15).

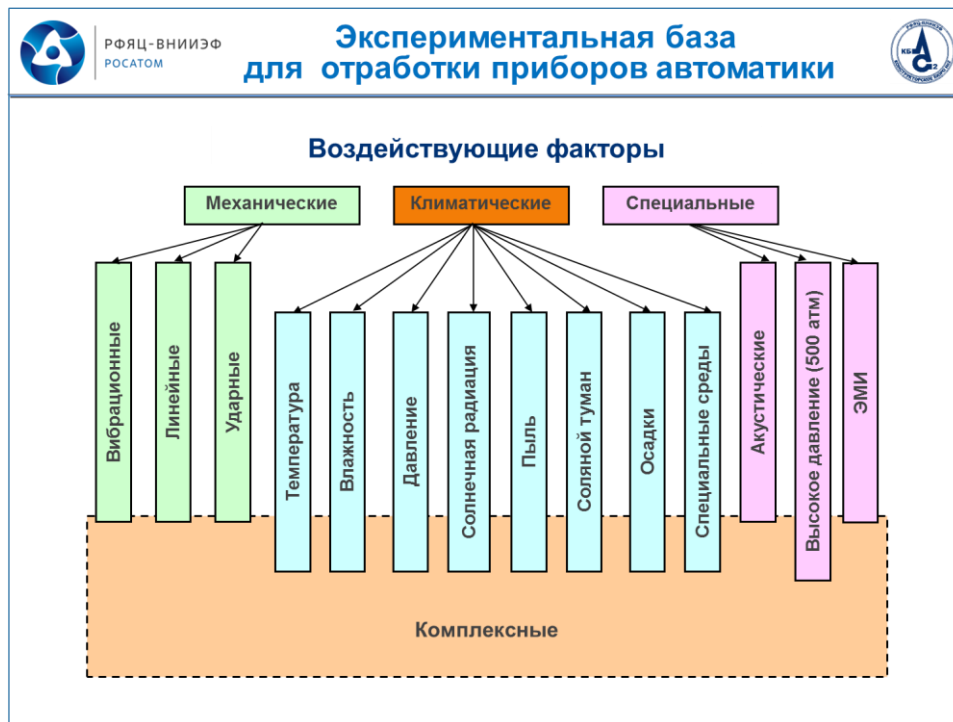


Рисунок 8.15

Комплекс вибрационных испытаний обеспечивает проведение следующих испытаний:

- синусоидальная вибрация;
- **ШСВ**;
- классический удар;
- имитация **СПВ**;
- различные виды наложений.

Комплекс ударных установок предназначен для исследований и испытаний при воздействии:

- одиночных и многократных ударов;
- ударов прямого действия и обращенных ударов;
- ударов простой формы и виброударов.

При испытаниях проводится регистрация реакций приборов систем автоматики на эти воздействия.

Далее. **Комплекс линейных ускорений.**

Возможности комплекса позволяют охватить весь диапазон задач, решаемых в процессе исследований, разработки и производства приборов СА:

- исследование и подтверждение прочности и точности функционирования в т.ч. при комплексном воздействии;
- настройка чувствительных элементов инерционных приборов;
- настройка пороговых датчиков;
- контроль метрологических характеристик линейных акселерометров при различных видах нагружений.

Комплекс климатических воздействий.

Предназначен для проведения испытаний, измерений и регистрации параметров нагрузений при воздействии:

- повышенной и пониженной температуры воздуха;
- повышенной и пониженной влажности воздуха;
- скачкообразного изменения температуры среды (термоудар);
- потока солнечной радиации;
- атмосферных выпадающих осадков (дождь);
- динамической пыли;
- соляного (морского) тумана;
- атмосферного пониженного/повышенного давления;
- комплексного воздействия (температура + вибрация).

Основой экспериментальной базы КБ-2 для отработки изделий является многоцелевой испытательный комплекс (МИК), обладающий уникальными возможностями по отработке изделий (рисунок 8.16).

МИК представляет собой систему свыше 20-ти установок и стендов, оснащенных специальными средствами измерений, обеспечивающими постановку широкого круга экспериментов с моделями и натурными макетами боеприпасов.



Рисунок 8.16. Многоцелевой испытательный комплекс КБ-2

Основой МИК является ракетно-катапультирующая установка (рисунок 8.17), обеспечивающая решение задач аэродинамической и функциональной отработки боевого оснащения с воспроизведением натуральных условий боевого применения.

На РКУ с помощью ракетных многоступенчатых поездов обеспечивается разгон до больших скоростей на рельсовых направляющих объектов при функциональных испытаниях.



Рисунок 8.17. Ракетно-катапультирующая установка

Основные установки и стенды МИК

Ракетная катапультирующая установка

Аэробаллистическая трасса

Ударные трубы

предназначены для:

- определения стойкости ОИ к воздействию воздушной ударной волны;
- исследований параметров ВУВ при подрыве зарядов ВВ различной конструкции.

-

Аэробаллистический тир

В аэробаллистическом тире проводится:

- аэродинамическая отработка ОИ различной номенклатуры на моделях;
- получение теневых спектров обтекания летящих моделей;
- регистрация геометрии моделей на траектории полета методом рентгенографии.

-

Стенд высокоскоростных ударно-осколочных испытаний

Поршневая ударная труба, в которой проводятся испытания объектов на воздействие длительных воздушных ударных волн малой интенсивности сериями от 1 до 6 последовательных импульсов.

Стенд огневых испытаний на котором проводятся:

- огневые стендовые испытания ракетных двигателей на твёрдом топливе, определение их внутрибаллистических и энергетических характеристик;
- испытания ОИ на стойкость к воздействию термомеханических нагрузок, реализующихся при воздействии на них высокоскоростного и **высокоэнтальпийного** потока газов, моделируемого на стенде струей продуктов сгорания РДТТ.

-

Стенд стрелковых испытаний.

Стенд включает закрытый тир для испытаний инертных изделий и открытую площадку для обстрела изделий, содержащих ВВ.

В процессе испытаний проводятся высокоскоростная съёмка и видеорегистрация состояния ОИ и преграды, измерение скорости подлёта поражающих элементов к ОИ, запреградной скорости и давления ВУВ при подрыве ОИ.

Стенд бросковых испытаний

На стенде проводится подтверждение пожаро- и взрывобезопасности ОИ при падении на различные виды оснований (бетон, грунт, вода, снег, элементы конструкций) в прямой и обращенной постановке.

Стенд теплового нагружения

На стенде проводится подтверждение взрывобезопасности ОИ и средств их защиты при воздействии теплового поля пожара с непосредственным контактом пламени с ОИ, а также без него (через термостабилизатор). Профиль температурного поля – произвольный, возможен повторный запуск.

Взрывные устройства для метания компактных элементов

Здесь проводится экспериментальное изучение реакции составных частей ОИ на воздействие, как одиночного металлического компактного элемента, так и поля таких элементов в широком диапазоне скоростей соударения.

Открытая аэробаллистическая трасса

Обеспечивает:

- проведение экспериментальных работ по аэродинамическому, баллистическому и террадинамическому проектированию боевого оснащения ракетных комплексов и боеприпасов РАВ с подтверждением эффективности действия по цели;
- разработку методов и средств испытаний боевого оснащения, приборов и систем автоматики, боеприпасов РАВ, позволяющих в совокупности с действующими стендами, установками и баллистическими трассами МИК РФЯЦ-ВНИИЭФ обеспечить законченный цикл наземной аэродинамической и функциональной отработки боеприпасов, а также подтвердить их безопасность при аварийных и несанкционированных воздействиях.

Новая разработка специалистов КБ – это **стенд динамических испытаний**. Предназначен для испытаний узлов и приборов системы автоматики высоконагруженных боеприпасов на воздействие одиночного механического удара, моделирующего нагрузки, действующие на изделие на участке движения в плотных средах.

Установка давления и перегрузки (УДП)

При расчетном случае несимметричного входа изделия в ВУВ испытания на УДП можно проводить двумя последовательными нагружениями, отдельно на осевую и боковую нагрузки. Установка давления и перегрузки позволяет воспроизвести действующие на изделие нагрузки, практически полностью соответствующие реально возникающим при взаимодействии изделия с ВУВ.

Моделирование подставки и фронта нагрузки позволяет не только смоделировать НДС изделия и его динамику, но и проверить работоспособность СА, стойкость изделия при нагрузках близких к натурным.

Разработка отмечена Премией Правительства РФ для молодых специалистов.

Взрывной ударный стенд

На стенде проводятся испытания изделий и приборов системы автоматики на воздействие одиночного ударного механического импульса с моделированием квазистатической и колебательной составляющей нагрузки.

О разработке **ретрансляционного комплекса ракетного базирования**, за которую молодые специалисты КБ-2 в 2013 году получили Премию Правительства.

На рисунках 8.18, 8.19 показаны фотографии использования ретранслятора на полигоне при летных испытаниях экспериментального образца изделия.



Рисунок 8.18. Фотография старта ракеты РКР

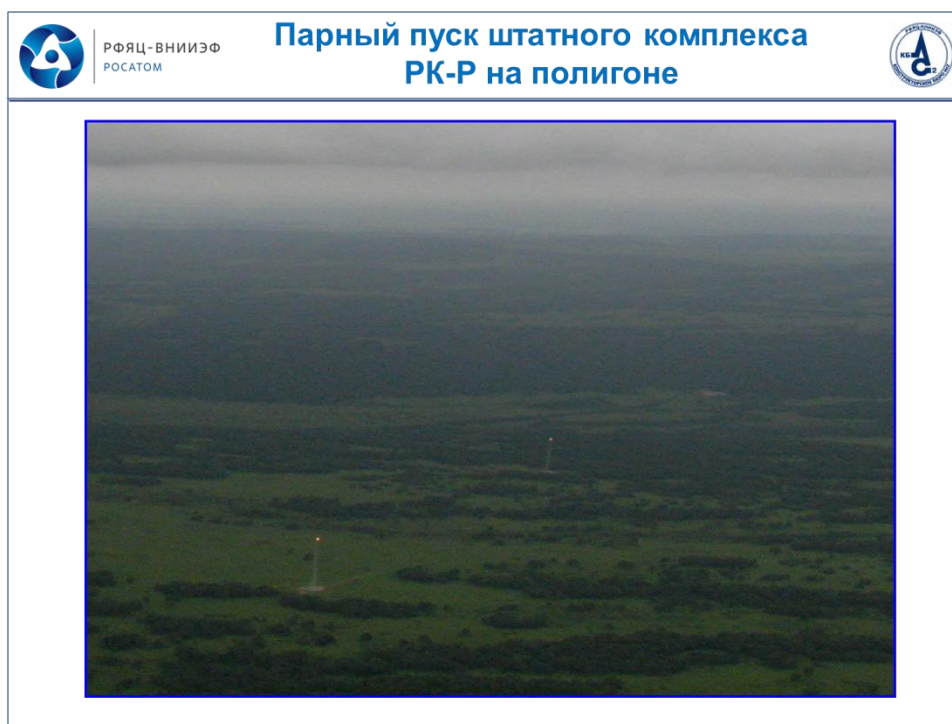


Рисунок 8.19. Фотография старта ракет с ретрансляторами

Измерительные технологии, которые применяются при проведении испытаний на установках и стендах МИК

На рисунке 8.20 представлена обобщенная информация по измерительно-информационному комплексу МИК.



Рисунок 8.20

При поведении испытаний на установках и стендах МИК проводятся следующие виды измерений:

- электрические;
- радиолокационные; оптико-физические измерения и регистрация.

Электрические измерения:

- наземные многоканальные телеметрические измерения; здесь используются наземные регистраторы;
- бортовые радиотелеметрические измерения; используются бортовые автономные регистраторы.

На рисунке 8.21 приведена схема общего принципа электрических измерений.



Рисунок 8.21

Наземные многоканальные телеметрические измерительные системы с использованием первичных преобразователей различного типа применяются для измерения давлений в воздушных ударных волнах и газовых средах, ударных ускорений, температур, интервалов времени.

Бортовые радиотелеметрические системы применяются для измерения параметров движения (линейных ускорений и угловых скоростей) и других физических параметров на борту движущихся объектов и передачи их по радиоканалу в реальном времени на наземный измерительный пункт. В зависимости от решаемой задачи используются системы с различной информативностью и количеством каналов измерения.

Для измерений ударных ускорений на борту движущихся объектов применяется бортовой измерительный комплекс (БИК), который запоминает данные измерений в энергонезависимой памяти на борту с последующим считыванием ее после завершения эксперимента. БИК оснащается пьезоэлектрическими или пьезорезистивными акселерометрами.

Радиолокационные измерения

Радиолокационные системы с использованием эффекта Доплера применяются для измерения скоростей движущихся объектов, а также для исследования взаимодействия объектов с различными преградами.

Основная область применения систем:

- регистрация параметров движения (полета) объектов испытаний;
- определение параметров быстротекущих нестационарных процессов;
- определение параметров пылевых образований за метаемыми объектами в процессе их внедрения в грунтовые преграды.

На рисунке 8.22 представлена функциональная схема работы радиолокационной станции.



Рисунок 8.22

Оптико-физические измерения и регистрация. При таких измерениях используются оптические явления, сопровождающие исследуемые процессы.

Для регистрации процессов применяется как традиционная аналоговая техника с использованием различных фото-киноматериалов, так и новейшие скоростные цифровые камеры.

Классификация оптико-физических измерений и регистрации:

- **фотограмметрические** измерения;
- фотопирометрические измерения;
- скоростная фото и видео регистрация;
- рентгеновская регистрация;
- традиционная фото и видео съемка.

Важнейшими и наиболее информативными видами оптико-физических измерений являются измерения параметров траектории движущихся объектов, в том числе **фотограмметрические** измерения линейных и угловых координат методом стереоскопического фотографирования с подсветкой импульсными источниками света. Для этого баллистические трассы оснащаются измерительными **стереопостами**, в состав которых входят специальные фотокамеры (аналоговые или цифровые), импульсные источники света, геодезическое обеспечение и система управления. **Стереопосты** располагаются вдоль пути следования объекта испытаний.

Объект испытаний, пролетающий в поле зрения фотокамер **стереопоста** с открытыми затворами, освещается короткими импульсами света. В результате на пленке фиксируется несколько (по числу вспышек) изображений объекта.

Линейное и угловое положение объекта и соответствующее им время в единой шкале эксперимента вычисляются в процессе **фотограмметрической** обработки полученных изображений на специальном программно-аппаратном комплексе.

Импульсные источники света запускаются системой управления на базе ПК.

Для определения времен запуска система управления получает значение скорости объекта при помощи базозадающего устройства.

На рисунке 8.23 приведена схема размещения средств стереопоста.



Рисунок 8.23

Фото-кинорегистрация. Теневая регистрация

Важной задачей для исследования процессов аэродинамики является получение изображения спектров обтекания движущихся объектов. Для этого применяется стенд теневого фотографирования.

Съемка ведется с подсветкой объекта импульсными источниками света.

На рисунке 8.24 приведена схема теневой регистрации.



Рисунок 8.24

На рисунке 8.25 представлена схема комбинированного фотопоста и кадр теневого спектра обтекания.



Рисунок 8.25

Фото-кинорегистрация. Синхробаллистическая фотосъемка

На рисунке 8.26 снимки с камеры синхробаллистической фотосъемки. Также применяется скоростная кино- и видеосъемка, а также традиционная видеосъемка. На слайде пример кадра.



Рисунок 8.26

Производственная база и применяемые здесь технологии

Производственно-технологическая база включает в себя завод ВНИИЭФ, опытный цех КБ-2 и отделение микроэлектроники (рисунок 8.27). Для изготовления некоторых составных частей изделий и оборудования привлекается ЭМЗ «Авангард».



Рисунок 8.27

На рисунке 8.28 показано здание механического цеха и образцы современного технологического оборудования.



Рисунок 8.28

Цех по изготовлению экспериментальных изделий изготавливает макеты и опытные образцы СА специальных изделий.

В состав цеха входят:

механические участки

Оснащение: станки с ЧПУ, станки с цифровой индикацией, координатно-расточные станки, обрабатывающие центры.

Задачей участков является изготовление деталей со сложной геометрической формой (контакты, мембраны, прижимы, корпуса и т.д.) на разнообразном высокоточном оборудовании.

Основу разрабатываемых и внедряемых технологических процессов составляют высокие приборные технологии: лезвийная обработка материалов с использованием многофункционального технологического оборудования (обрабатывающие центра токарного и фрезерного типа), электроэрозионная обработка, лазерные технологии резки и сварки материала.

слесарно-сборочные участки

Осуществляют сборку первых образцов приборов систем автоматики нового поколения, входящих в состав перспективных изделий. Работа слесарного участка, в условиях опытного производства является ключевым звеном процесса изготовления изделий приборной тематики. Основной особенностью участка является освоение новых уникальных технологий изготовления, современных приборов, которых раньше никто не изготавливал.

радиомонтажный участок

Монтажники радиоэлектронной аппаратуры обладают методами и способами монтажа сложных электронных устройств, блоков и систем, владеют особенностями объемного монтажа печатных плат. На участке ведутся электромонтажные работы по изготовлению вновь разрабатываемых радиоэлектронных приборов и пультов.

Микроэлектронные технологии

Основными задачами структуры, занимающейся микроэлектроникой являются разработка новых технологий, а также освоение базовых промышленных технологий, и с их использованием изготовление уникальных прецизионных приборов автоматики и датчиков физических величин.

Изготовление ведется на уникальном оборудовании лазерной обработки различных материалов, оборудовании ионно-плазменного травления металлов, органических и неорганических материалов, на установках вакуумного напыления различных типов, с применением современного диагностического оборудования.

Имеющееся оборудование позволяет изготавливать приборы и их составные части по полному циклу, начиная от изготовления фотошаблонов и заканчивая механическими и климатическими испытаниями.

С 2003 года в КБ-2 используются аддитивные технологии прототипирования макетов изделий. На рисунке 8.29 показана принципиальная схема функционирования установки.



Рисунок 8.29



Рисунок 8.30. Образцы корпусных деталей, созданных на установке

На рисунке 8.31 показаны возможности технологии по управлению плотностью создаваемых элементов конструкции.



Рисунок 8.31

Высокая точность позволяет создавать крупногабаритные детали по частям (рисунок 8.32).



Рисунок 8.32

Нет ограничений на сложность изготавливаемых моделей (рисунок 8.33).



Рисунок 8.33

Вклад КБ-2 в обеспечение оборонного могущества государства – создано и поддерживается в боеготовом состоянии с требуемой эффективностью, надежностью и безопасностью боевое оснащение комплексов оружия различного назначения (рисунки 8.34, 8.35, 8.36).



Рисунок 8.34

Боевые и эксплуатационные характеристики всех боеприпасов, находящихся на вооружении, соответствуют тактико-техническим требованиям Минобороны России.



Рисунок 8.35

Президент, Правительство и Минобороны уделяют большое внимание вопросам поддержания и совершенствования боевого оснащения комплексов оружия, являющихся основой обеспечения безопасности нашей страны.



Рисунок 8.36

ЛЕКЦИЯ 9

Тема 9. ОСНОВЫ НАУЧНОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Раздел 1. Основы научных исследований

Одной из важнейших черт современного научно-технического прогресса является развитие научных основ формирования инженерных решений при создании технических устройств и машин. Все больше стираются грани между проектной и исследовательской деятельностью. Проведение научных исследований становится для инженера необходимостью, так как лишь с их помощью удастся найти оптимальные технические решения при проведении конкретных разработок. Для выполнения необходимых исследований инженер должен владеть методиками проведения исследований, методами планирования эксперимента, обработки и анализа его результатов.

Истоки науки своими корнями уходят в практику ранних человеческих сообществ, в которых неразделимо сосуществовали познавательные и производственные моменты. Первоначально знания носили практический характер, выполняя роль методических руководств по конкретным видам человеческой деятельности. В странах древнего Востока (Вавилоне, Египте, Индии, Китае) было накоплено значительное количество такого рода практических знаний, которые составили важнейшие предпосылки будущей науки.

Рассмотрев ранее историю развития физики, мы с вами можем отметить, что развитие естествознания в древности и средние века подготовило научную базу для крупных открытий последующих времен.

Под влиянием потребностей развитого капитализма начала складываться наука в современном понимании. Помимо накопленных в прошлом традиций, этому содействовали два обстоятельства:

- во-первых, в эпоху Возрождения было подорвано господство религиозного мышления, а противостоящая ему картина мира опиралась как раз на научные факты, иными словами, наука начала превращаться в самостоятельный фактор духовной жизни, в реальную базу мировоззрения;

- во-вторых, наряду с наблюдением наука берет на вооружение эксперимент, который становится в ней ведущим методом исследования и радикально расширяет сферу познавательной реальности, тесно соединяя теоретические рассуждения с «практическим» испытанием природы.

В XVI - XVII веках резко увеличилась познавательная мощь науки, произошла ломка старой и создание новой системы научных теорий, понятий, принципов. Это глубокое преобразование научного знания было названо ***I научной революцией***. Ее началом стали фундаментальные открытия в астрономии.

Благодаря открытиям в естественных науках в XIX веке была свершена ***II научная революция***.

Крупные изменения в основах научного мышления, а также ряд крупных открытий в физике привели **на рубеже XIX - XX веков** к полному краху

механистического мировоззрения. Это стало отправной точкой для свершения **III научной революции**, которая охватила главным образом физику.

Новым в развитии естествознания с **середины XX** века явилось то, что научные революции слились с техническими в единый процесс. Современная **научно-техническая революция** - качественно новый процесс, преобразующий материальную основу общества. Основными ее чертами являются:

- 1) открытие и использование новых видов и источников энергии;
- 2) автоматизация и кибернизация производства;
- 3) использование в производстве, управлении и науке ЭВМ;
- 4) открытие способов создания материалов с заранее заданными свойствами, которых не существует в природе;
- 5) проникновение в микро- и макромир;
- 6) оптимизация отношений человек - природа;
- 7) управление большими системами.

Первой и наиболее **характерной чертой** современной науки является то, что она становится непосредственной производительной силой. Это значит, что технический прогресс непосредственно опирается на развитие науки. Можно говорить об индустриализации науки не только с точки зрения ее оснащения, но и с точки зрения ее связей с производством.

Вторая характерная черта современной науки - масштабность. На смену ученым-одиночкам, относительно свободным в выборе научной проблематики и сроков исследования, пришла масса людей, опирающаяся на мощную техническую базу, научная работа которых планируется и управляется.

Резкое ускорение темпов научно-технического прогресса - **третья характерная черта** современной науки.

Наряду с процессом дробления и специализации в современной науке проявляется и противоположный процесс «стыковки» не только смежных, но и весьма далеких наук. Это **четвертая характерная черта** современной науки, которую можно назвать тесным взаимодействием наук. Особенно ярко это проявляется в глубоком проникновении математических методов в самые разные науки.

В последние годы в науке обнаруживается еще одна - **пятая характерная черта** - системный подход к изучению объектов исследования.

Задачи, выдвигаемые современным производством перед инженерными кадрами, настолько сложны, что их решение требует творческого поиска, исследовательских навыков. В связи с этим современный специалист должен владеть не только необходимой суммой фундаментальных и специальных знаний, но и определёнными навыками творческого решения практических задач, постоянно повышать свою квалификацию, быстро адаптироваться к изменяющимся условиям.

В условиях рыночной экономики происходит коренная перестройка науки, связанная с созданием конкурентоспособной продукции, превращением науки в ведущую силу материального производства. Необходимость научного подхода в производстве товаров, экономике и политике, среде управления и системе

образования заставляет науку развиваться более быстрыми темпами, чем любую другую область деятельности.

1 Научные исследования

1.1 Структура научного исследования

Цель перспективных научных исследований - помочь возникновению новых областей науки и техники, связанных с технологиями информационного общества, которые будут иметь стратегическое значение для устойчивого социально-экономического развития человеческого общества.

Научное исследование - это процесс познания объективной действительности, закономерностей и связей между явлениями реального мира. *Цель* любого научного исследования - всестороннее, достоверное изучение объектов, процессов или явлений, их структуры, связей и отношений на основе разработанных в науке принципов и методов познания, а также получение и внедрение в производство полезных для человека результатов.

Научное исследование проходит ряд этапов, которые составляют структуру научного исследования. Ее можно представить в виде схемы, изображенной на рисунке 9.1.

1 Первым этапом любого научного исследования является постановка проблемы. На нем осуществляется не только поиск проблемы, но и точная, четкая формулировка задачи научного исследования, так как от нее в значительной мере зависит успешный исход работы.

2 Второй шаг - выдвижение и обоснование первоначальной гипотезы на основе четко сформулированной задачи исследования и критического анализа собранной исходной информации.

3 Далее следуют теоретические исследования, которые заключаются в анализе и синтезе существующих закономерностей, справедливых для исследуемого объекта, а также в добывании с помощью аппарата фундаментальных наук (математики, теоретической механики, сопротивления материалов и др.) новых, неизвестных еще закономерностей. Цель теоретических исследований - как можно полнее обобщить наблюдаемые явления, связи между ними, получить как можно больше следствий из принятой рабочей гипотезы.

4 Экспериментальное исследование, или научно поставленный опыт - наиболее сложный и трудоемкий этап научного исследования. Цель эксперимента зависит от характера научного исследования и последовательности его проведения. Если эксперимент проводится после теоретического исследования, он подтверждает либо опровергает результаты разработанной теории. В случае отсутствия достаточной теоретической базы эксперимент часто предшествует теоретическому исследованию. При таком порядке проведения исследования теория объясняет и обобщает результаты эксперимента.

5 После проведения теоретического и экспериментального исследований выполняют анализ и сопоставление их результатов, следствием которых является окончательное подтверждение выдвинутой гипотезы и формирование следствий,

вытекающих из нее, либо необходимость ее видоизменения. В некоторых случаях на основе выполненного анализа гипотеза может быть опровергнута.

6 На этапе заключительных выводов подводятся итоги исследования, то есть формулируются полученные результаты и их соответствие поставленной задаче. Для чисто теоретических исследований этот этап является заключительным, но для большинства задач в области техники возникает следующий этап.

7 Освоение результатов - этап подготовки к промышленной реализации полученных результатов, разработка технологических или конструкторских принципов, которые зачастую не укладываются в рамки инженерной доработки и требуют непрямого участия авторов исследования.



Рисунок 9.1

1.2 Классификация научных исследований

Научные исследования классифицируются по видам связи с общественным производством, целевому назначению, степени важности для народного хозяйства и источникам финансирования.

По целевому назначению выделяют три вида научных исследований: фундаментальные, прикладные и разработки.

Фундаментальные исследования направлены на открытие и изучение новых явлений и законов природы, на создание новых принципов исследования. Цель фундаментальных исследований - открытие новых законов, вскрытие связей между явлениями и создание новых теорий.

Прикладные исследования - создание новых либо совершенствование существующих средств производства, предметов потребления и т. д. Прикладные исследования, в частности исследования в области технических наук, направлены

на «овеществление» знаний, полученных в результате фундаментальных исследований.

Прикладные исследования, в свою очередь, подразделяются на поисковые, научно-исследовательские и опытно- конструкторские работы.

Поисковые исследования направлены на установление факторов, влияющих на объект, отыскание путей создания новых технологий и техники на основе способов, предложенных в результате фундаментальных исследований. В результате *научно-исследовательских работ* создаются новые технологии, опытные установки, приборы и т. п. Целью *опытно-конструкторских работ* является подбор конструктивных характеристик, определяющих логическую основу конструкции.

В результате фундаментальных и прикладных исследований формируется новая научная и научно-техническая информация. Целенаправленный процесс преобразования такой информации в форму, пригодную для освоения в промышленности, обычно называется разработкой.

Разработка - использование результатов прикладных исследований для создания и отработки опытных моделей техники (машин, устройств, материалов, продуктов), технологии производства, а также усовершенствование существующей техники.

Между фундаментальными исследованиями и производством лежит область взаимосвязанных стадий, указанных на рисунке 9.2. Проектирование и освоение относятся и к области науки, и к области техники. Они являются научной работой, поскольку предполагают творческую деятельность, не только основанную на известных навыках, стандартных приемах и практическом опыте, но и направленную на получение новых оригинальных решений в области техники, технологии или организации производства.



Рисунок 9.2

1.3 Задачи и методы теоретических исследований

Научное исследование не может осуществляться хаотически, беспорядочно. Оно должно иметь определенную систему и подчиняться заранее разработанному плану. Ориентиром, указывающим путь к получению положительного результата, является метод исследования.

Метод - это способ достижения цели, являющийся программой построения и практического применения теории. Разнообразные методы научного познания условно подразделяются на ряд уровней: эмпирический, экспериментально-теоретический, теоретический и метатеоретический.

Методы эмпирического уровня конкретно связаны с изучаемыми явлениями и используются на этапе формирования научной гипотезы. В их числе:

- *наблюдение* - это способ познания объективного мира, основанный на непосредственном восприятии предметов и явлений при помощи органов чувств без вмешательства в процесс со стороны исследователя;

- *сравнение* - это установление различия между объектами материального мира или нахождение в них общего, осуществляемое как при помощи органов чувств, так и при помощи специальных устройств;

- *счет* - это нахождение числа, определяющего количественное соотношение однотипных объектов или их параметров, характеризующих те или иные свойства;

- *измерение* - это физический процесс определения численного значения некоторой величины путем сравнения ее с эталоном.

Методы экспериментально-теоретического уровня помогают исследователю обнаружить те или иные достоверные факты, объективные проявления в протекании исследуемых процессов.

К методам экспериментально-теоретического уровня относятся: эксперимент, анализ и синтез, индукция и дедукция, аналогия, моделирование, гипотетический и исторический методы.

Эксперимент - это одна из сфер человеческой практики, в которой подвергается проверке истинность выдвигаемых гипотез или выявляются закономерности объективного мира. При эксперименте, в отличие от наблюдения, исследователь с целью познания вмешивается в изучаемый процесс. В случае необходимости испытания могут повторяться и организовываться так, чтобы исследовать отдельные свойства объекта, а не их совокупность.

Анализ (аналитический метод) - метод научного познания, заключающийся в мысленном расчленении объекта исследования на составные части или выделение присущих ему признаков или свойств для изучения их в отдельности.

Синтез - метод исследования, предполагающий рассмотрение группы объектов как единого целого с учетом взаимосвязи всех составных частей и присущих ей признаков.

Индуктивный метод заключается в том, что от наблюдения частных единичных случаев приходят к общим выводам, а от отдельных фактов - к обобщению.

Дедуктивный метод основан на выводе частных положений из общих правил, законов, суждений.

Аналогия - метод исследования, заключающийся в том, что из сходства некоторых признаков или свойств в целом различных объектов делается вывод о сходстве и других признаков или свойств, до того не изученных.

Гипотетический метод познания предполагает разработку научной гипотезы. Рабочая гипотеза - это обоснованное предположение о вероятной причине возникновения наблюдаемых фактов либо о предположительном развитии процесса или явления.

Методы теоретического уровня предназначены для логического исследования собранных фактов, выработки понятий, суждений, формирования умозаключений. Здесь широко используются логические методы сходства, различия, сопутствующих изменений. К методам теоретического уровня относятся: абстрагирование, идеализация, формализация, анализ и синтез, индукция и дедукция, аксиоматика, обобщение и др.

Абстрагирование - это мысленное отвлечение от несущественных свойств, связей, отношений предметов и выделение нескольких сторон, интересующих исследователя.

Идеализация - это мысленное конструирование объектов, которые практически неосуществимы (например, идеальный газ, абсолютно твердое тело).

Формализация - отображение объекта или явления в знаковой форме какого-либо символического языка (математики, химии и т. д.) и обеспечение возможности исследования реальных объектов и их свойств через формальное исследование соответствующих знаков.

Аксиоматический метод - способ построения научной теории, при котором некоторые утверждения (аксиомы) принимаются без доказательства и затем используются для получения остальных знаний по определенным логическим правилам.

Обобщение - определение общего понятия, в котором находит отражение главное, характеризующее объекты данного класса.

Методы метатеоретического уровня предназначены для исследования самих теорий и разработки путей их построения. К методам рассматриваемого уровня относят диалектический метод и метод системного анализа.

Диалектический метод разрабатывает подходы к развитию теорий на основе применения общепризнанных положений к решению частных задач.

Системные методы используются при исследованиях сложных систем с многообразными связями, характеризующимися непрерывностью и дискретностью, детерминированностью и случайностью.

Моделированием называется замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели.

Модель (в переводе с французского - образец) - это упрощенная форма представления реальных процессов и взаимосвязей в системе. В научном исследовании под моделью понимают искусственно созданную систему, которая

в определенном отношении схожа с исследуемым объектом, так как воспроизводит его характерные черты и явления, происходящие в натуральных условиях.

Все многообразие моделей можно разделить на 2 класса: вещественные (физические или для объектов техники механические) и воображаемые (математические).

Физической моделью может считаться установка, в которой осуществлено полное или неполное моделирование и соответственно физическое подобие, благодаря чему по характеристикам модели можно получать все существенные для данной задачи характеристики натурального объекта умножением на масштабные коэффициенты. Физическая модель отличается от натурального объекта своими размерами, но процессы, совершающиеся в ней, по своей природе не отличаются от процессов, происходящих в природе (то есть это копия физически реальной системы), например, модели самолетов и их испытания в аэродинамических трубах. Физическое моделирование целесообразно в тех случаях, когда исследовать влияние изменения конструктивных параметров на те или другие процессы на натурном объекте очень трудоемко и дорого либо вообще невозможно.

Другим видом вещественного моделирования является *моделирование по аналогии*, при котором модель и натуральный объект или явление имеют различную физическую природу, но описываются однотипными уравнениями. Моделирование по аналогии гораздо проще и дешевле физического, так как оно может осуществляться на ЭВМ или с помощью моделей. Однако для исследуемого процесса не всегда удастся получить необходимое аналитическое выражение, а без этого моделирование по аналогии невозможно.

Под *математическим моделированием* понимается процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью, и исследование этой модели, позволяющее получать характеристики исследуемого натурального объекта или процесса. Математическое моделирование, относится к воображаемому, логическому моделированию.

Функциональное моделирование - это моделирование, осуществляемое на установках, в которых комплекс моделируемых явлений не только не сохраняет физическую природу, но может и не описываться формально одинаковыми уравнениями. При функциональном моделировании подобными считаются явления, которые в каком-то смысле, в отношении каких-то частных процессов или отдельных их сторон дают похожие результаты.

1.4 Типы и задачи экспериментальных исследований

Важнейшей составной частью научных исследований является эксперимент, основой которого является научно поставленный опыт с точно учитываемыми и управляемыми условиями. Само по себе понятие «эксперимент» означает действие, направленное на создание условий для осуществления того или иного явления по возможности наиболее частого, т.е. не осложняемого другими явлениями. Основными целями эксперимента являются выявление свойств

исследуемых объектов, проверка справедливости гипотез. Постановка и организация эксперимента определяются его назначением.

По результатам эксперимента формируются выводы.

Экспериментальные исследования, которые проводятся в различных отраслях науки, классифицируют по ряду признаков.

По способу формирования условий выделяют естественный и искусственный эксперименты.

Естественный предполагает проведение опытов в естественных условиях существования объекта исследования.

При *искусственном эксперименте* формируются искусственные условия.

По целям исследований различают эксперименты преобразующие, констатирующие, контролирующие, поисковые и решающие.

Преобразующий (созидательный) эксперимент включает активное изменение структуры и функций объекта исследования в соответствии с выдвинутой гипотезой, формирование новых связей и отношений между компонентами объекта или между исследуемым объектом и окружающей средой.

Констатирующий эксперимент используется для проверки определенных предположений. В его процессе констатируется наличие определенной связи между воздействием на объект исследования и результатом, выявляется наличие определенных фактов.

Контролирующий эксперимент сводится к контролю за результатами внешних воздействий на объект исследования с учетом его состояния, характера воздействия и ожидаемого эффекта.

Поисковый эксперимент проводится в том случае, если затруднена классификация факторов, влияющих на изучаемое явление вследствие отсутствия достаточных предварительных данных. По его результатам устанавливается значимость параметров, осуществляется отсеивание малозначимых.

Решающий эксперимент ставится для проверки справедливости основных положений фундаментальных теорий в том случае, когда две или несколько гипотез одинаково согласуются со многими явлениями. Его цель - выявление наиболее справедливой гипотезы.

По организации проведения бывают эксперименты лабораторные и натурные.

Лабораторный эксперимент проводится в лабораторных условиях с применением типовых приборов, специальных моделирующих установок, стендов, оборудования и т. д., и изучается не сам объект, а его образец.

Натурный эксперимент проводится в естественных условиях и на реальных объектах. Он часто используется в процессе испытаний изготовленных систем. В зависимости от места проведения испытаний натурные эксперименты подразделяются на производственные, полевые, полигонные, полунатурные и т. п. Практически во всех случаях основная научная проблема натурного эксперимента - обеспечить адекватность условий эксперимента реальной обстановке, в которой будет работать создаваемый объект. Основными задачами натурного эксперимента являются изучение характеристик воздействия среды на испытуемый объект, идентификация статистических и динамических параметров

объекта, оценка эффективности функционирования объекта и проверка его на соответствие заданным требованиям.

По структуре изучаемых объектов и явлений различают простой и сложный эксперименты.

Простой используется для изучения объектов с небольшим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих простейшие функции и не имеющих разветвленной структуры.

В *сложном* эксперименте изучаются явления или объекты с большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов и выполняющих сложные функции.

По характеру внешних воздействий на объект исследования выделяют вещественный, энергетический и информационный эксперименты.

Вещественный - рассматривает влияние воздействия физических тел на состояние объекта исследования.

Энергетический эксперимент применяется для изучения влияния на объект исследования различных видов энергии (электромагнитной, тепловой, механической и т. д.). Этот тип эксперимента широко распространен в естественных науках.

Информационный эксперимент используется для изучения воздействия определенной информации на объект исследования. Он чаще всего применяется в биологии, психологии, кибернетике и т. п.

По характеру взаимодействия средства экспериментального исследования с объектом исследования существуют обычный и модельный эксперименты.

Обычный (или классический) эксперимент включает экспериментатора как познающего субъекта, а также объект или предмет экспериментального исследования и средства его осуществления (инструменты, приборы, экспериментальные установки). Причем экспериментальные средства непосредственно взаимодействуют с объектом исследования.

Модельный эксперимент в отличие от обычного имеет дело с моделью исследуемого объекта. Модель входит в состав экспериментальной установки, замещая не только объект исследования, но часто и условия, в которых изучается некоторый объект. Различие между моделью и реальным объектом может стать источником ошибок, что требует дополнительных затрат времени и теоретического обоснования свойств модели.

По типу моделей, исследуемых в эксперименте, выделяют материальный и мысленный эксперименты.

В *материальном* эксперименте используются материальные объекты исследования.

Орудиями мысленного (умственного) эксперимента являются мысленные модели исследуемых объектов или явлений. Его называют также идеализированным или воображаемым экспериментом. Мысленный эксперимент является одной из форм умственной деятельности, в процессе которой воспроизводится в воображении структура реального эксперимента. Сходство мысленного эксперимента с реальным в значительной мере определяется тем, что всякий

реальный эксперимент, прежде чем быть осуществлённым на практике, сначала проводится человеком мысленно. Поэтому мысленный эксперимент нередко выступает в роли идеального плана реального эксперимента, предваряя его. В то же время мысленный эксперимент может быть выполнен и в тех случаях, когда проведение реальных опытов оказывается невозможным.

По контролируемым величинам эксперименты разделяют на пассивный и активный.

Пассивный эксперимент предусматривает изменение только выбранных показателей (параметров, переменных) в результате наблюдения за объектом без искусственного вмешательства в его функционирование. Примером пассивного эксперимента является подконтрольная эксплуатация ядерных боеприпасов. В этом случае выделяется специальная группа подконтрольных изделий, в ходе которой осуществляется контроль газовой среды внутри гермообъёма, фиксируется и накапливается информация о всех отказах и неисправностях составных частей, на каком временном отрезке они произошли или выявлены, данные о нагрузках при перевозках и т.п. Пассивный эксперимент, по существу, является наблюдением, которое сопровождается либо инструментальным измерением, либо фиксированием выбранных показателей состояния объекта исследования.

Активный эксперимент связан с выбором входных сигналов (факторов) и контролирует вход и выход исследуемой системы. В этом случае исследователь организует и активно влияет на ход эксперимента, задавая различные нагрузки, изменяя продолжительность их воздействия, изменяет количество и виды входных параметров и их вариацию. Активные эксперименты проводят по специальным программам, которые разрабатывают перед их проведением. Программа активного эксперимента включает: цель и задачи эксперимента; выбор варьируемых факторов; обоснование объема эксперимента, числа опытов; порядок реализации опытов, определение последовательности изменения факторов, задание интервалов между будущими экспериментальными точками; обоснование средств измерений; описание проведения эксперимента; обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента.

По числу варьируемых факторов существуют однофакторный и многофакторный эксперименты.

Однофакторный эксперимент предполагает исключение малозначимых факторов, выделение существенных факторов и их поочередное варьирование.

Суть *многофакторного* эксперимента состоит в том, что варьируются все переменные одновременно, и влияние каждой оценивается по результатам всех опытов, проведенных в данной серии экспериментов.

Кроме того, в зависимости от задач эксперимента различные его типы могут объединяться, образуя комплексный, или комбинированный, эксперимент.

1.5 Прикладные исследования (НИР)

Прикладные исследования являются одной из стадий жизненного цикла создания новых видов продукции. К ним относятся исследования, которые

осуществляются с целью практического использования результатов фундаментальных и поисковых НИР применительно к конкретным задачам.

Цель прикладных НИР – дать ответ на вопрос «возможно ли создание нового вида продукции, материалов или технологических процессов на основе результатов фундаментальных и поисковых НИР, и с какими характеристиками».

Результаты прикладных исследований – патентоспособные схемы, научные рекомендации, доказывающие техническую возможность создания новшеств (станков, приборов, технологий).

НИР состоят из этапов (стадий), под которыми понимается логически обоснованный комплекс работ, имеющий самостоятельное значение и являющийся объектом планирования и финансирования.

Конкретный состав этапов и характер выполняемых в их рамках работ определяются спецификой НИР.

Согласно ГОСТ 15.101-98 «Порядок выполнения НИР» основными этапами НИР являются:

1. Разработка технического задания (ТЗ) – подбор и изучение научно-технической литературы, патентной информации и других материалов по теме, обсуждение полученных данных, на основе которых составляется аналитический обзор, выдвигаются гипотезы и прогнозы. По результатам анализа выбираются направления исследований и пути реализации требований, которым должно удовлетворять изделие. Составляется отчетная научно-техническая документация по стадии, определяются необходимые исполнители, подготавливается и выдается техническое задание.

На стадии разработки технического задания на НИР используются следующие виды информации:

- объект исследования;
- описание требований к объекту исследования;
- перечень функций объекта исследования общетехнического характера;
- перечень физических и других эффектов, закономерностей и теорий, которые могут быть основой принципа действия нового изделия;
- технические решения (в прогнозных исследованиях);
- сведения о научно-техническом потенциале исполнителя НИР;
- сведения о производственных и материальных ресурсах исполнителя НИР;
- маркетинговые исследования;
- данные об ожидаемом экономическом эффекте.

Дополнительно используется следующая информация:

- методы решения отдельных задач;
- общетехнические требования (стандарты, экологические и другие ограничения, требования по надежности, ремонтпригодности, эргономике и так далее);
- проектируемые сроки обновления продукции;
- предложения лицензий и "ноу-хау" по объекту исследований.

2. Выбор направления исследования – сбор и изучение научно-технической информации, составление аналитического обзора, проведение патентных исследований, формулирование возможных направлений решения задач, поставленных в ТЗ НИР, и их сравнительная оценка, выбор и обоснование принятого направления исследований и способов решения задач, сопоставление ожидаемых показателей новой продукции после внедрения результатов НИР с существующими показателями изделий-аналогов, оценка ориентировочной экономической эффективности новой продукции, разработка общей методики проведения исследований. Составление промежуточного отчета.

3. Проведение теоретических, экспериментальных исследований – разработка рабочих гипотез, построение моделей объекта исследований, обоснование допущений, проверяются научные и технические идеи, разрабатываются методики исследований, обосновывается выбор разного рода схем, выбираются методы расчётов и исследований, выявляется необходимость проведения экспериментальных работ, разрабатываются методики их проведения. Если определена необходимость проведения экспериментальных работ, осуществляются проектирование и изготовление макетов и экспериментального образца.

Проводятся стендовые и полевые экспериментальные испытания образца по разработанным программам и методикам, анализируются результаты испытаний, определяется степень соответствия полученных данных на экспериментальном образце расчетным и теоретическим выводам.

Если имеют место отклонения от ТЗ, то проводится доработка экспериментального образца, проводятся дополнительные испытания, при необходимости вносятся изменения в разработанные схемы, расчеты, техническую документацию.

4. Оформление результатов НИР – составление отчётной документации по результатам НИР, включающей материалы по новизне и целесообразности использования результатов НИР, по экономической эффективности. Если получены положительные результаты, то разрабатываются научно-техническая документация и проект технического задания на опытно-конструкторские работы. Составленный и оформленный комплект научно-технической документации предъявляется к приёмке заказчику. Если частные технические решения имеют новизну, то они оформляются через патентную службу независимо от окончания составления всей технической документации.

5. Приемка темы – обсуждение и утверждение результатов НИР (научно-технического отчета) и подписание акта заказчика о принятии работы. Если получены положительные результаты и подписан акт приемки, то разработчик передает заказчику:

- принятый комиссией экспериментальный образец нового изделия;
- протоколы приёмочных испытаний и акты приёмки опытного образца (макета) изделия;
- расчеты экономической эффективности использования результатов разработки;

- необходимую конструкторскую и технологическую документацию по изготовлению экспериментального образца.

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.

Комплексное проведение НИР по определённой целевой программе позволяет не только решить научно-техническую проблему, но и создать достаточный задел для более оперативного и качественного проведения опытно-конструкторских работ, конструкторской и технологической подготовки производства, а также значительно сократить объём доработок и сроки создания и освоения новой техники.

1.6 Опытно-конструкторские разработки (ОКР)

Продолжением прикладных НИР являются *технические разработки*: опытно-конструкторские (ОКР), проектно-технологические (ПТР) и проектные (ПР) разработки. На этой стадии разрабатываются новые технологические процессы, создаются образцы новой продукции, машин и приборов и т.д.

Проведение ОКР регламентируется:

- СТБ 1218-2000. Разработка и постановка продукции на производство. Термины и определения.
- СТБ-1080-2011. «Порядок выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ по созданию научно-технической продукции».
- ТКП 424-2012 (02260). Порядок разработки и постановки продукции на производство. Технический кодекс. Положения технического кодекса распространяются на работы по созданию новой или усовершенствованной продукции (услуг, технологий), в том числе по созданию инновационной продукции.
- ГОСТ Р 15.301-2016, Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство.
- и др.

Целью проведения опытно-конструкторской работы является разработка комплекта рабочей конструкторской документации в объеме и по качеству отработки, достаточного для постановки на производство определенного вида продукции (ГОСТ Р 15.301-2016).

Опытно-конструкторские работы в основном осуществляются проектными и конструкторскими организациями. Вещественный результат этой стадии – это чертежи, проекты, стандарты, инструкции, опытные образцы. Вероятность практического использования результатов – 90 - 95 %.

Типовыми этапами ОКР являются:

1. Техническое задание – исходный документ, на основе которого осуществляется вся работа по созданию нового изделия.

В техническом задании определяется назначение будущего изделия, задаются тщательно обоснованные технические и эксплуатационные параметры и характеристики: производительность, габариты, скорость, надёжность, долговечность и другие показатели, обусловленные характером работы будущего изделия. В нём также содержатся требования об условиях транспортировки, хранения и ремонта, рекомендации по выполнению необходимых стадий разработки конструкторской документации и её составу, технико-экономическое обоснование и другие требования.

Разработка технического задания базируется на основе выполненных научно-исследовательских работ, анализа существующих аналогичных моделей и условий их эксплуатации.

После согласования и утверждения техническое задание является основанием для разработки эскизного проекта.

2. Эскизный проект состоит из графической части и пояснительной записки.

Первая часть содержит принципиальные конструктивные решения, дающие представление об изделии и принципе его работы, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры. Он дает представление о будущей конструкции изделия, включая чертежи общего вида, функциональные блоки, входные и выходные электрические данные всех узлов (блоков), составляющих общую блок-схему.

На этой стадии разрабатывается документация для изготовления макетов, осуществляется их изготовление и испытания, после чего корректируется конструкторская документация.

Вторая часть эскизного проекта содержит расчет основных параметров конструкции, описание эксплуатационных особенностей.

Макет изделия позволяет добиться оптимальной компоновки отдельных частей, найти более правильные эстетические и эргономические решения и тем самым ускорить разработку конструкторской документации на последующих стадиях.

В задачи эскизного проекта входит разработка руководящих указаний по обеспечению на последующих стадиях технологичности, надежности, стандартизации и унификации.

3. Технический проект разрабатывается на основе утвержденного эскизного проекта и предусматривает выполнение графической и расчетной частей, а также уточнения технико-экономических показателей создаваемого изделия. Он состоит из совокупности конструкторских документов, содержащих окончательные технические решения, которые дают полное представление об устройстве разрабатываемого изделия и исходные данные для разработки рабочей документации.

В графической части технического проекта приводятся чертежи общего вида проектируемого изделия, узлов в сборке и основных деталей. Чертежи обязательно согласовываются с технологами.

В пояснительной записке содержатся описание и расчет параметров основных сборочных единиц и базовых деталей изделия, описание принципов его работы, обоснование выбора материалов и видов защитных покрытий, описание всех схем и окончательные технико-экономические расчеты. На этой стадии при разработке вариантов изделий изготавливается и испытывается опытный образец.

4. Рабочий проект является дальнейшим развитием и конкретизацией технического проекта. Эта стадия разбивается на три уровня: разработка рабочей документации опытной партии (опытного образца); разработка рабочей документации установочной серии; разработка рабочей документации для серийного или массового производства.

5. Разработка рабочей КД и ТД; изготовление опытных образцов, проведение предварительных испытаний.

Рабочая конструкторская документация (РКД) – совокупность конструкторских документов, предназначенных для изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации и ремонта изделия.

В состав работ, проводимых на этапе РКД, включают:

- разработку рабочей КД и ТД;
- 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.

6. 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 считается законченной после утверждения акта приемки ОКР.

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).

1.7 Подготовка и освоение производства (постановка на производство) продукции

1 Подготовка производства

Подготовку и освоение производства, которые представляют собой этапы постановки продукции на производство, осуществляют с целью обеспечения готовности производства к изготовлению и выпуску (поставке) вновь разработанной (модернизированной) либо, выпускавшейся ранее другим предприятием продукции в заданном объеме, соответствующей требованиям конструкторской документации.

Изготовитель принимает от разработчика продукции:

- комплект КД и ТД литеры О₁ или более высокой;
- специальные средства контроля и испытаний;
- опытный образец продукции (при необходимости);
- документы согласования применения комплектующих изделий;
- заключения по приведенным экспертизам (в том числе метрологической, экологической и др.);
- копию акта приемочных испытаний;
- документы, подтверждающие соответствие разработанной продукции обязательным требованиям.

На этапе подготовки производства должны быть выполнены работы, обеспечивающие технологическую готовность предприятия к изготовлению продукции в заданных объемах, а также следующие основные работы:

- разработку ТД;
- отработку конструкции на технологичность с учетом стандартов ЕСТД;
- заключение договоров (контрактов) с поставщиками комплектующих изделий и материалов и лицензионных соглашений с правообладателем на использование объектов промышленной и интеллектуальной собственности;

Подготовку производства считают законченной, когда изготовителем продукции получена вся необходимая документация, разработана (отработана) ТД на изготовление продукции, опробованы и отлажены средства технологического оснащения и технологические процессы, подготовлен персонал, занятый при изготовлении, испытаниях и контроле продукции, и установлена готовность к освоению производства.

2 Освоение производства

На этапе освоения производства изготавливается установочная серия (первая промышленная партия), дорабатывается технологический процесс производства продукции, проводятся квалификационные испытания, дорабатывается изделие на технологичность, утверждается КД и ТД с присвоением литеры А.

В период постановки на производство продукции изготовитель проводит все необходимые работы для последующей обязательной по законодательству сертификации продукции.

С целью демонстрации готовности предприятия к выпуску продукции, проверки разработанного технологического процесса, обеспечивающего стабильность характеристик продукции, а так же для оценки готовности предприятия к выпуску продукции, проводят квалификационные испытания. Программа испытаний разрабатывается изготовителем с участием разработчика.

В программе указывают:

- количество образцов в установочной серии;
- все виды периодических испытаний, указанных в ТУ, а также другие виды испытаний, позволяющие достигнуть цели квалификационных испытаний;
- место проведения испытаний.

Квалификационные испытания проводит комиссия, в состав которой входят представители заказчика, изготовителя, разработчика продукции, разработчиков и поставщиков комплектующих изделий и, при необходимости, других заинтересованных сторон. Проведение испытаний оформляют протоколами испытаний.

Результаты квалификационных испытаний считают положительными, если установочная серия выдержала испытания по всем пунктам программы, положительно оценена технологическая оснащенность производства и стабильность технологического процесса.

Положительные результаты оформляют актом, в котором указывают:

- соответствие продукции обязательным требованиям и КД, результаты выборочного контроля технологического процесса;
- рекомендации об установлении эталонов для установившегося промышленного производства (при необходимости);
- оценку готовности изготовителя к производству и готовности к утверждению КД и ТД с присвоением литеры А.

При положительных результатах квалификационных испытаний освоение производства считается законченным.

1.8. 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.

1.9 Связь науки с производством

Конечными целями научно-технического прогресса являются повышение эффективности производства и улучшение жизненного уровня населения. Они будут достигнуты в том случае, когда в результате материализации и серийного выпуска продукции научно-технические новшества станут производительной силой. Процесс доведения научных разработок до серийного выпуска можно показать в виде схемы, представленной на рисунке 9.3.

График показывает, как с течением времени изменяется соотношение между затратами средств и прибылью при развитии научной идеи. На начальных стадиях фундаментального исследования, прикладного исследования и разработки общество несет, в основном, только расходы. Внедрение первых образцов (освоение) - очень важный процесс. Это обязательный этап создания любого продукта производства, но он имеет скорее информационную, чем экономическую ценность. Факт единичного внедрения подтверждает успех научной идеи, ее конструктивной и технологической проработки. На стадии освоения обычно получают первый значительный экономический эффект, который, как правило, все же меньше понесенных до этого затрат. Если бы научные разработки доходили только до этой стадии, наука была бы для общества убыточной. Лишь на стадии распространения новшество дает эффект, который намного больше затрат и своими огромными масштабами может реально влиять на рост национального дохода, превращая науку в производительную силу. Поэтому надо четко различать понятия «первичного» внедрения и массового распространения новшества, его серийный выпуск.

Технический прогресс сопровождается совершенствованием старых и появлением новых материалов и технологий. Развитие техники, рост потребностей общества приводят к моральному старению объекта производства и прекращению его промышленного изготовления.

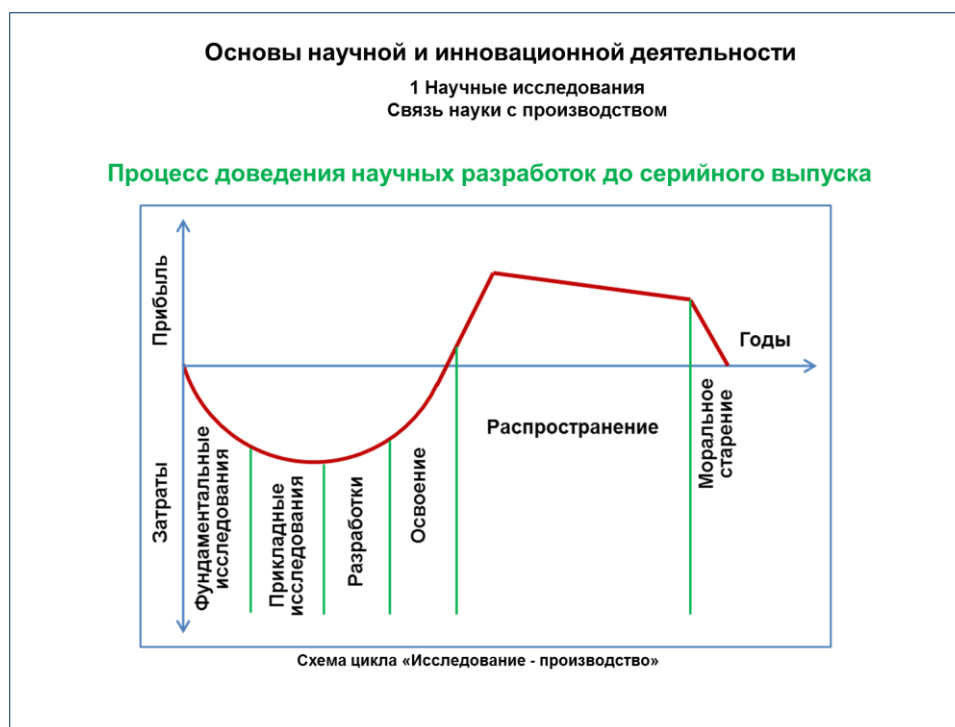


Рисунок 9.3

Раздел 2. Инновационная деятельность

2.1 Понятие инновации, инновационная деятельность

Определение инновации

Целями инновационной политики ведущих стран мира являются увеличение вклада науки и техники в развитие экономики, обеспечение прогрессивных преобразований в сфере материального производства, повышение конкурентоспособности национальных продуктов на мировом рынке, укрепление национальной безопасности и обороноспособности своей страны, улучшение экологической обстановки и др.

Реализация инновационной политики экономически развитых государств происходит в рамках непрерывного процесса создания инноваций.

Процесс создания инноваций определён как основа социально-экономического развития современного общества.

Инновация. Термин «инновация» происходит от латинского «novatio», что означает «обновление» (или «изменение»), а понятие «инновация» было введено в научный обиход в 30-е годы XX столетия **Йозефом Алоизом Шумпетером** - австрийским и американским экономистом, социологом и историком экономической мысли.

Инновация по **Й. Шумпетеру**: «Новая научно-организационная комбинация производственных факторов, мотивированная предпринимательским духом».

Инновация по **Бриану С.Твиссу**: «Процесс, в котором изобретение или идея приобретает экономическое содержание».

Инновация по **Ф. Никсону**: «Совокупность технических, производственных и коммерческих мероприятий, приводящих к появлению на рынке новых и улучшенных промышленных процессов и оборудования».

Инновация по **Б.Санто**: «Общественно-техничко-экономический процесс, который через практическое использование идей и изобретений приводит к созданию лучших по своим свойствам изделий, технологий, и в случае, если инновация ориентирована на экономическую выгоду, прибыль, ее появление на рынке может принести добавочный доход».

Инновацией по **С.Ройтману** и **О.Фиговскому** называется любой образ, трактуемый как идея, или система образов, произведенных мыслительным процессом одного или нескольких индивидуумов, обладающих отличительными, ранее неизвестными, признаками по отношению к известным аналогичным образам.

Во многих публикациях инновацией называется процесс, посредством которого идеи трансформируются в новые продукты, физические, социальные процессы, или технологии и в конечном итоге вводятся во всеобщее употребление.

В соответствии с международными стандартами инновация определяется как конечный результат инновационной деятельности, получивший воплощение в виде нового или усовершенствованного продукта, внедренного на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности, либо в новом подходе к социальным услугам.

Анализ этих разных определений инновации приводит к выводу, что специфическое содержание инновации составляют изменения, являющиеся главной функцией инновационной деятельности.

Й. Шумпетером, например, выделено пять типичных изменений:

- 1) использование новой техники, новых технологических процессов или нового рыночного обеспечения производства (купля – продажа);
- 2) внедрение продукции с новыми свойствами;
- 3) использование нового сырья;
- 4) изменения в организации производства и его материально-технического обеспечения;
- 5) появление новых рынков сбыта.

2.2. Классификация инноваций.

Существует значительное многообразие классификаций инноваций. В частности, в таблице 9.1 приведены классификации, основанные на различных содержательных признаках.

Таблица 9.1

№ п/п	Признак классификации	Виды инноваций
1	По областям применения	– Технологические (новые и улучшенные способы производства); – Экологические; – Организационно-производственные (новые методы и формы организации различных видов деятельности); – Организационно-управленческие; – Военные (военно-стратегические); – Экономические (новые формы и методы работы, используемые аппаратом управления); – Социально-политические (различные формы активизации человеческого фактора, включая квалификационную и кадровую подготовку, стимулирование творческой деятельности, улучшение условий труда и др.); – Государственно-правовые (в сферах законодательства, налогообложения, нормативно-правовых актов); – В духовной сфере (наука, культура, этика, образование, и т.д.)
2	По причинам возникновения	– Стратегические: носят упреждающий характер, с целью получения конкурентных преимуществ в будущем; – Реактивные: обеспечивают конкурентоспособность фирмы на рынке, часто являются реакцией на нововведения, осуществляемые другими участниками рынка
3	По направленности воздействия на процесс производства	– Замещающие: предназначены для замены устаревших; – продуктов новыми или замены технологических процессов для выпуска товаров долговременного спроса; – Расширяющие: нацелены на проникновение в различные отрасли и рынки имеющихся базисных инноваций, а также на захват новых областей сбыта; – Рационализирующие: направлены на

		повышение качества продукции и услуг, изменение дизайна, конструкции или состава, снижение издержек производства и т.п.; – Отменяющие: исключают необходимость продукта или операции
4	По роли в процессе производства	– Основные инновации. Новые рынки, отрасли, производственные системы и технологии; – Дополняющие инновации. Расширение рынка в соответствующих областях, развитие имеющихся базисных производственных технологий

Продолжение таблицы 9.1

5	По направленности результатов инновационного процесса	– Институциональные: направлены на формирование новых бизнес-процессов и приемов; – Продуктовые: направлены на создание и выведение на рынок новых или модифицированных продуктов и услуг; – Технологические (процессные): направлены на формирование новых технологических процессов и необходимых для их реализации оборудования, комплектующих, материалов и сырья
6	По условиям, в которых вводится инновация	– Поддерживающие: характерны для ситуации, когда конкурентная борьба вынуждает компанию производить более дорогие усовершенствованные продукты для своих основных потребителей; – Подрывные: основаны на совершенствовании простых, удобных и дешевых продуктов, которое приводит к возникновению интереса у новых категорий потребителей. В этих условиях «атакующие» могут победить лидеров
7	По значимости	– Радикальные: обеспечивают создание принципиально новых видов продуктов, дают долгосрочное преимущество над конкурентами; – Комбинаторные: обеспечивают удержание преимущества над конкурентами за счет создания новых видов продукта; – Модифицирующие (улучшающие):

		обеспечивают конкурентное удержание рынка за счет создания продуктов с низкой степенью новизны
8	По глубине вносимых изменений	– Регенерирующие первоначальные свойства системы, сохраняющие и обновляющие ее существующие функции; – Изменяющие количественные свойства системы. – Перегруппирующие составные части системы с целью улучшения ее функционирования. – Адаптирующие изменения элементов системы с целью приспособления друг к другу. – Создающие новый вариант, простейшее качественное изменение, выходящее за рамки простых адаптивных изменений; первоначальные признаки системы не меняются. – Создающие новое поколение; меняются все или большинство свойств системы, но базовая структурная концепция сохраняется. – Создающие новый вид, качественное изменение первоначальных свойств системы, её первоначальной концепции без изменения функционального принципа. – Создающие новый род, радикальное изменение в функциональных свойствах системы и её частей, изменяющее её функциональный принцип.

Для дальнейшего рассмотрения принципов ведения инновационной деятельности особенно важна классификация по значимости инноваций.

Приведем подробные характеристики радикальных, комбинаторных и модифицирующих инноваций.

Радикальные инновации характеризуются следующими признаками:

- наступательной стратегией;
- огромными затратами;
- продуктом высокой рыночной новизны;
- значительной удачей, непропорциональной затратам;
- высокой степенью риска;
- большим числом рисков, в т.ч. неидентифицируемых.

Таким образом, радикальные инновации представляют собой внедрение принципиально новых продуктов и технологий. Радикальные инновации

достаточно немногочисленны и, как правило, предусматривают появление нового потребителя и нового рынка.

Примером радикальной инновации может служить первый копируемый аппарат (Херох), сотовый телефон.

Комбинаторные инновации характеризуются следующими признаками:

- новинками, реакцию рынка на которые легко предвидеть;
- «рыночной тягой»;
- высоким уровнем риска;
- средним числом идентифицируемых рисков.

Комбинаторные инновации чаще всего представляют собой новое сочетание уже известных элементов и могут быть направлены на привлечение новых групп потребителей или освоение новых рынков.

Примером комбинаторной инновации служит пульт дистанционного управления для телевизора.

Модифицирующие инновации характеризуются следующими признаками:

- заранее известной реакцией рынка;
- наибольшей распространенностью;
- наличием «рыночной тяги»;
- оборонительной стратегией;
- низким уровнем риска;
- идентифицируемым риском;
- сравнительно малыми усилиями и затратами;
- прогнозируемым успехом, пропорциональным разумным затратам.

Модифицирующие инновации предполагают улучшение или дополнение существующих продуктов, направлены на сохранение или усиление рыночных позиций предприятия. Примером модифицирующей инновации служит введение дополнительных функций в известных технологиях, модификация известного продукта (например, калькулятор, календарь в телефоне).

Из приведенных характеристик видно, что типы инноваций зависят от степени их рыночной и технической новизны. Так, для радикальных инноваций характерна высокая степень как рыночной, так и технической новизны.

Комбинаторные инновации не имеют высокой рыночной новизны, хотя предполагают высокий уровень технической новизны.

Модифицирующие же инновации характеризуются низкой степенью и рыночной и технической новизны. Соответствие типов инноваций и уровней новизны показано на рисунке 9.4.

Важно, что сегмент диаграммы «низкая техническая новизна»/«высокая рыночная новизна» остается незаполненным, поскольку на старых технологиях невозможно построить новый рынок!



Рисунок 9.4

2.3 Инновационный процесс

Процесс создания инноваций называется инновационным процессом. Он связан с созданием, освоением и распространением инноваций.

Инновационный процесс осуществляется на разных уровнях:

- государственном, региональном;
- муниципальном, фирменном;
- подразделений и исполнительском (рисунок 9.5).

Государственный уровень реализации инновационного процесса заключается в государственной политике стимулирования и поддержки инновационной деятельности.

Механизм государственной поддержки научной и инновационной деятельности включает:

- прямое бюджетное финансирование,
- льготы по налогообложению для инновационной деятельности,
- создание государственного инновационного фонда,
- создание сети технопарков, технополисов,
- создание системы специального образования и др.

Каждый последующий нижний уровень инновационного процесса более конкретен в плане участия в реализации инновационных проектов.

Самым нижним и самым конкретным является исполнительский уровень инновационного процесса.

Исполнительский уровень инновационного процесса определяется как последовательность стадий и этапов воплощения идеи возможного нововведения в разработку, производство, продажу и диффузию нового инновационного продукта, кратко называемого «инновацией».

Инновационный процесс на исполнительском уровне обеспечивается деятельностью непосредственных исполнителей инновационных разработок, к которым относятся инновационные инженеры, учёные, специалисты по маркетингу (маркетологи), патентоведы, конструкторы, технологи, экономисты, и др.

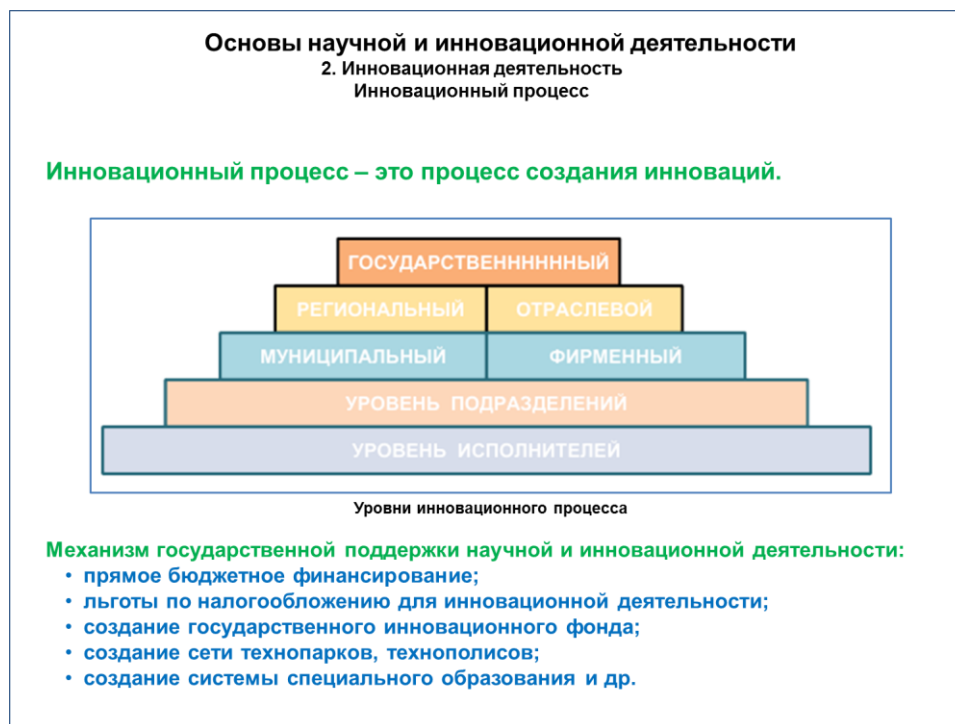


Рисунок 9.5

2.4 Инновационная деятельность.

Инновационная деятельность направлена на реализацию законченных научных исследований и инженерных разработок в виде нового или существенно усовершенствованного и реализуемого на рынке продукта.

Результатами инновационной деятельности являются также новые или видоизменённые технологические процессы, используемые в практической деятельности, а также связанные с этими изменениями дополнительные научные исследования и разработки.

Характер инновационной деятельности связан с предметной областью, в рамках которой создаётся инновационный продукт.

Инновационная деятельность может быть разделена на следующие основные направления: *вещественное, методологическое, программное и системное*.

Вещественное инновационное направление связано с созданием новых веществ, материалов.

В базисной научной основе данного направления находятся такие дисциплины как химия, материаловедение, нанотехнологии и др.

Методологическое инновационное направление включает: новые методы диагностики сложных технических систем, новые методы обучения, математические модели, экспертные системы и др.

Научным базисом данного направления являются физические дисциплины, педагогика, прикладная математика и др.

Программное инновационное направление включает: новые программные продукты, предназначенные для удовлетворения существующих потребностей и обеспечивающие прогресс в различных областях человеческой деятельности.

Базисными дисциплинами данного направления являются: дискретная математика, основы программирования, архитектура вычислительных систем, языки программирования, математическая логика и теория алгоритмов, теория автоматов и формальных языков и др.

Системное инновационное направление включает новые технические системы в широком многообразии практических реализаций.

Доминирующими базисными научными дисциплинами для данного направления являются общая теория систем, физика и производные от неё науки: механика, гидравлика, электротехника, электроника, теплотехника, физическая химия, ядерная физика, акустика, аэро- и гидродинамика, и др.

Разделение инновационной деятельности на отдельные направления носит условный характер. В реальности все направления создания инноваций тесно связаны друг с другом.

Например, при создании новых материалов используются соответствующие по новизне технические системы в виде экспериментальных установок и технологического оборудования, новые методы, технологии и программное обеспечение.

Развитие программных продуктов стимулирует развитие компьютеров, которые для своего дальнейшего совершенствования нуждаются в новых компонентах и материалах.

В свою очередь, постоянно увеличивающиеся вычислительные мощности компьютеров создают благоприятные условия для создания всё более сложных программных продуктов.

В целом, взаимосвязь инновационных направлений определяет технологический уклад, который характеризуется единым техническим уровнем составляющих его производств, связанных потоками качественно однородных ресурсов, опирающихся на общие ресурсы квалифицированной рабочей силы, общий научно-технический и инновационный потенциал и др.

Подводя итог вышеизложенному, можно сделать вывод: инновационная деятельность направлена на создание, воплощение и реализацию инновации, т. е. на достижение результата. Результатом являются новые технологии, виды продукции, услуги, организационно-технические решения производственного, административного, коммерческого характера, которые способствуют их продвижению на рынок. Инновационная деятельность в настоящее время является ключевым фактором развития современных предприятий и позволяет им осуществлять эффективную деятельность.

**Дополнительные материалы к курсу лекций:
К части 1**

**Лекция 2, тема 3, раздел 1
Часть 1, ЭПОХА АНТИЧНОСТИ**

Стр. 29

Камера-обскура

Камера-обскура считается прототипом современного фотоаппарата. В переводе с латинского языка это значит «темная комната». **Представляет собой простое оптическое устройство, с помощью которого на экране получают изображения отображаемых предметов.** Внешне это темная коробка, не пропускающая свет, с отверстием и экраном, покрытым тонкой бумагой белого цвета либо матовым стеклом. При этом отверстие располагается на одной стороне, а экран – на другой, противоположной. Эффект устройства весьма необычный.

При прохождении луча через отверстие света объект отображается на противоположной по отношению к отверстию стенке в перевернутом и уменьшенном виде. Этот принцип сохраняется и сегодня в некоторых фотокамерах.

Первые упоминания о камере-обскуре встречаются еще в V веке до н.э. Именно тогда китайский философ **Ми Ти** поведал миру о возникновении изображения на стене затемненной комнаты. Принцип камеры обскуры первым подробно описал и проанализировал **Аристотель**. Вслед за ним арабский физик и математик X века **ибн Аль-Хайтам (Альхазен)** сделал вывод о линейности распространения света. В Средние века камера-обскура была вновь «открыта» английским философом и естествоиспытателем **Роджером Бэконом** (1217–1294), а в 1279-м архиепископ Кентерберийский **Джон Пенхам** высказал мысль, что с помощью камеры-обскуры можно наблюдать за движением Солнца.

Первая камера обскуры, использованная для написания художественных полотен, была создана **Леонардо да Винчи**. «Титан Возрождения» подробно описал ее в своем «Трактате о живописи». «...Когда изображения освещенных объектов проходят через маленькое круглое отверстие в очень темную комнату, вы будете видеть на бумаге все те объекты в их естественных формах и цветах...», — писал великий живописец, наблюдая, как лучи света, отражаясь на матовом стекле, создавали перевернутое цветное изображение.

Инь, Ян

В «Книге перемен» («И цзин») **Ян** и **Инь** служили для выражения светлого и тёмного, твёрдого и мягкого. В процессе развития китайской философии **Ян** и **Инь** всё более символизировали взаимодействие крайних противоположностей: света и тьмы, дня и ночи, солнца и луны, неба и земли, жары и холода, положительного и отрицательного, чётного и нечётного и т. д. (таблица 1).

Таблица 1

Противоположности	
Инь	Ян
Мрак	Свет
Пассивное	Активное
Женское	Мужское
Отрицательное	Положительное
Луна	Солнце
Вода	Огонь
Мягкое	Твёрдое
Внутреннее	Внешнее
Нижнее	Верхнее

Каждое из пяти энергетических полей может быть далее разделено на аспекты **Инь** и **Ян**. В традиционной китайской медицине теория энергии **инь** и **ян** представляет двойственность баланса и гармонии внутри тела, а также во Вселенной. Энергия Земли - это **Инь**, а энергия Неба - это **Ян**.

Китайская идеограмма **Инь** изображает темную, тенистую сторону холма или берега реки; **Ян** изображает яркую солнечную сторону холма или берега реки. **Инь** существует внутри **Ян**, а **Ян** существует внутри **Инь** (рисунок 1).



Рисунок 1

Ян проявляется как активный, творческий, мужской, горячий, жесткий, легкий, небеса, белый и яркий.

Инь проявляется как пассивный, восприимчивый, женский, холодный, мягкий, темный, Земля, черный и тень.

Инь зависит от **Ян**, а **Ян** зависит от **Инь**. Таким образом, все вещи имеют аспект **инь** и **ян**, который можно разделить на **Инь** и **Ян**. **Инь** и **Ян** взаимно создают друг друга, контролируют друг друга, поглощают друг друга и трансформируют друг друга. Этот динамический баланс Инь и Ян постоянно изменяется и преобразует энергию жизненной силы организма.

Конфуцианство

Конфуцианство — этико-философское учение, разработанное Конфуцием (553—480 до н. э.) и развитое его последователями, такими как **Чжуан-цзы**, **Мэн-цзы**, **Сюнь-цзы** и др., вошедшее в религиозный комплекс Китая, Кореи, Японии и некоторых других стран. Конфуцианство является мировоззрением, общественной этикой, политической идеологией, научной традицией, образом жизни, иногда рассматривается как философия, иногда — как религия.

Цзюньцзы: идеал мистического знания

Во всех рассуждениях **Конфуция** ярче всего проступает фигура некоего «благородного мужа» цзюньцзы — идеального типажа, точке устремлений каждого служивого мужа.

Под воздействием этого идеала сформировалась вообще вся моральная парадигма китайской культуры. Благородный муж «без гнева строг», он «безмятежен и спокоен» и логически противостоит «маленьким людям» (сяожэнь), которые не способны понимать и соблюдать ритуальную сторону жизни, испытывать человеколюбие, уважение к старшим, выполнять свой долг перед правителем.

С самого возникновения **Конфуцианство**, выражая интересы части господствовавшего класса (наследственной аристократии), было активным участником в социально-политической борьбе. Оно призывало к укреплению общественного строя и сложившихся форм государственного управления путём строгого соблюдения древних традиций, идеализированных конфуцианцами, и определённых принципов взаимоотношений между людьми в семье и обществе.

Как целостное этико-религиозное учение, **Конфуцианство** считало всеобщим законом справедливости, закономерным и оправданным, существование эксплуататоров и эксплуатируемых - людей умственного и физического труда, причём первые господствуют, а вторые подчиняются им и содержат их своим трудом. Во время формирования конфуцианства, в Древнем Китае существовали различные религиозные направления, между которыми

велась борьба, являвшаяся отражением острой социальной и политической борьбы различных общественных сил того времени.

Согласно конфуцианству все люди были разделены на пять категорий. Первая - люди привычки, живущие повседневной животной жизнью; их понятия дальше глаз, ушей и рта не простираются. Вторая - люди грамотные, образованные, живущие в соответствии с законами и обычаями. Третья - люди здравого смысла, одинаковые в горе и радости, невозмутимые философы, умеющие говорить и молчать. Четвёртая - люди прямодушные и истинно добродетельные. Пятая - люди, совершенные во всех отношениях. Согласно конфуцианству "человек обладает способностью совершенствоваться или развращаться, смотря по доброму или злему употреблению своей воли; за злые деяния он заслуживает наказания, за добрые - награды.

Конфуцианство как этико-политическая и религиозная система проникло во все поры общественной жизни и в течение многих веков определяло нормы морали, семейные и общественные традиции, научную и философскую мысль, препятствуя их дальнейшему развитию и выработав определённые стереотипы в сознании народа, в особенности среди интеллигенции. Конфуцианство ещё больше укрепилось после острой борьбы с буддизмом в 7-8 вв. Большая роль в этом принадлежала известному писателю и мыслителю **Хань Юю** (768-824), выступившему с резкой критикой буддизма и в защиту конфуцианства.

Вайшешика

Вайшешика — шестая система (школа) индийской философии (Миманса, Веданта, Йога, Санкхья, Ньяя, **Вайшешика**); приписывается мудрецу **Канаде** (III—II вв. до н. э.), настоящее имя которого — **Улука**, прозвище **Канада** означает «пожиратель атомов».

Стр. 39

Вариационный принцип

Содержание ***вариационных принципов*** состоит в том, что они устанавливают свойства (признаки), позволяющие отличить истинное, то есть фактически происходящее под действием заданных сил, движение механической системы от тех или иных кинематически возможных её движений (или же состояние равновесия системы от других возможных её состояний).

Стр. 40

Астрономическая рефракция (атмосферная рефракция) — преломление в атмосфере световых лучей от небесных светил, и изменение, в связи с этим, их положения на небосводе.

Поскольку плотность планетных атмосфер убывает с высотой, преломление света происходит таким образом, что своей выпуклостью искривлённый луч всегда обращён в сторону зенита. В связи с этим атмосферная рефракция всегда

«приподнимает» изображения небесных светил над их истинным положением. Из-за этого, в частности, увеличивается долгота дня на Земле — восход солнца наступает несколько раньше, а закат позже (рисунок 2). Другое видимое следствие атмосферной рефракции (точнее, разницы её значений на разных высотах) — сплющивание видимого диска Солнца или Луны на горизонте. С аномалиями атмосферной рефракции связано мерцание звёзд.

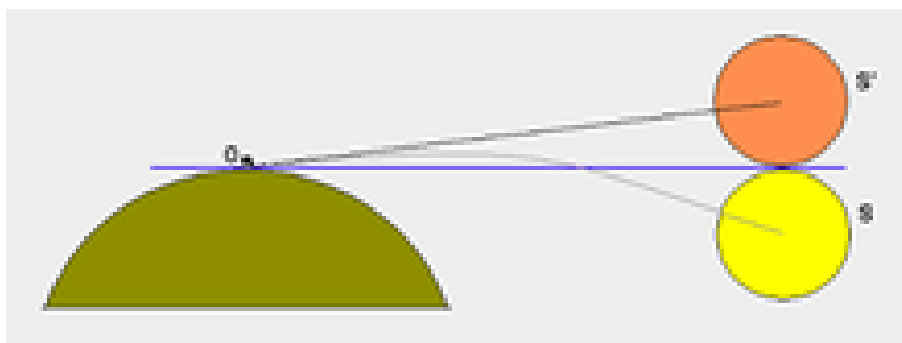


Рисунок 2. Фактическое положение солнца ниже горизонта (жёлтый диск) и его видимое положение (оранжевый) во время восхода/захода

Часть 2, СРЕДНИЕ ВЕКА

Стр. 43

Биноклярное зрение

Биноклярное зрение (от лат. *binī* — «два» и лат. *oculus* — «глаз») — способность одновременно чётко видеть изображение предмета обоими глазами; в этом случае человек видит одно изображение предмета, на который смотрит. **Биноклярное зрение** также называют стереоскопическим.

Камера-обскура (см. выше)

Аль-Джазари - изобретатель XII века.

Основатель робототехники и программирования?

Чёрный ящик, больше напоминающий шкатулку, имеет четыре двойных циферблата (рисунок 3). Каждый из них может быть установлен в 16 положениях, что позволяет создавать 4294967296 комбинаций. Если ввести правильную комбинацию, то замок откроется и даст доступ во внутреннюю часть сейфа. И это не современный кодовый замок с кучей чипов и электронной сенсорной панелью, это необыкновенное научно-техническое изобретение периода турецких сельджуков XII века. А принадлежит оно механику-изобретателю **Абу аль-Из ибн Исмаил ибн аль-Раззаз аль-Джазари**. Возможно первую робототехнику нашей цивилизации.

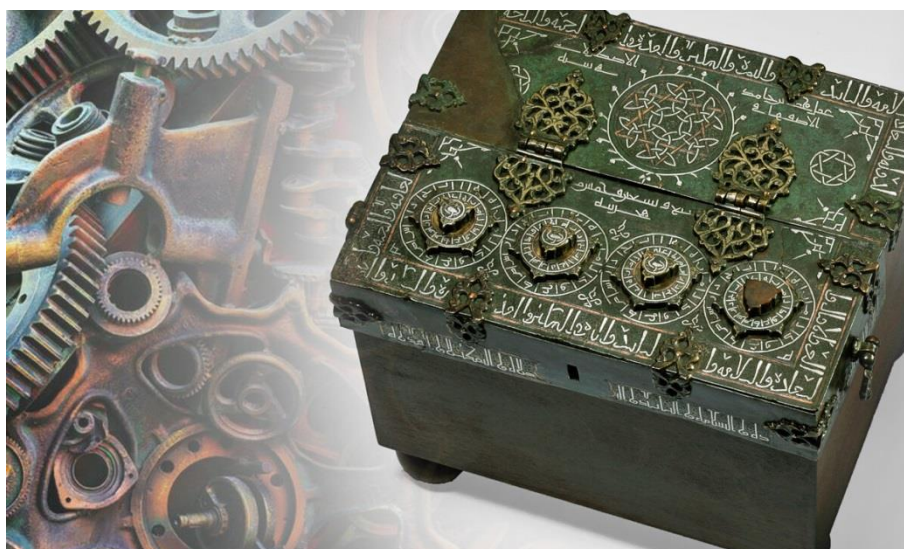


Рисунок 3

Исмаила **Аль-Джазари** (рисунок 4) часто называют **Леонардо да Винчи Востока**, несмотря на то, что он жил за несколько столетий до него. В 1206 году он написал "Книгу знаний об остроумных механических устройствах", в которой описал создание более 50 различных механизмов, включая часы, кодовые замки и роботов.



Рисунок 4

Его устройства в своё время произвели настоящую революцию в механике и технике (рисунки 5-9). **Аль-Джазари** изобрел коленчатый вал, его чертежи использовали для создания двухтактных клапанных насосов, плотин и водоподъемных машин. Но самое главное, уже в то время, он строил автоматизированные устройства, используя концепцию программирования. В связи с чем, его смело можно назвать основателем программирования.

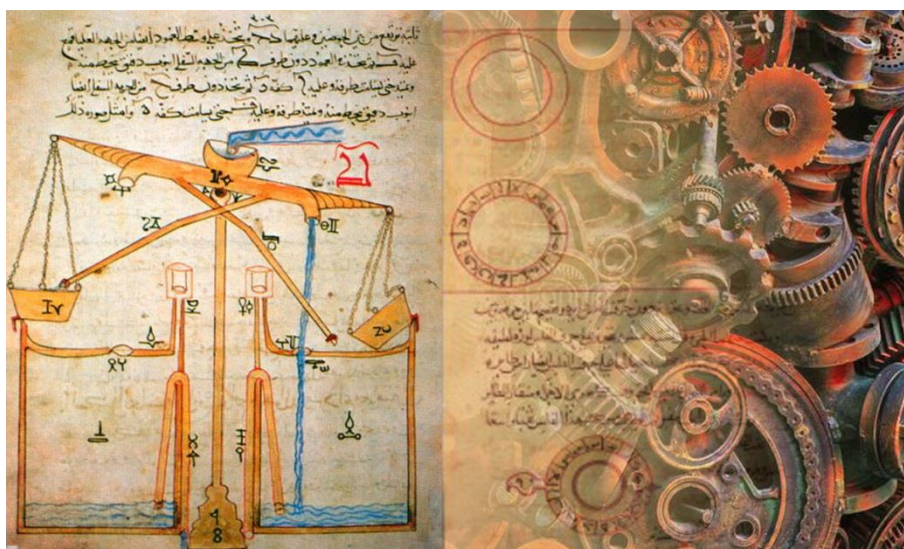


Рисунок 5

Он внёс огромный вклад в развитие науки и техники. Его труды привели к созданию паровой машины и двигателя внутреннего сгорания. Его наработки ускорили создание различных устройств автоматического управления и других современных технологий.



Рисунок 6

Он создал несколько устройств основанных на принципах робототехники, такие как музыкальный аппарат и человекоподобные роботы. Кроме того, **Аль-Джзари** принадлежат многие технологические новшества, например: ламинирование древесины, притирка движущихся частей с помощью корунда, металлические двери, различные кодовые замки, гибрид компаса с универсальными солнечными часами для любых широт и многое другое. Многие из его работ хранятся в различных музеях.



Рисунок 7

Некоторые исследователи даже выдвигают гипотезы, что он прибыл из будущего и по каким-то причинам не смог вернуться назад. Другие же полагают, что **Аль-Джазари** обладал способностью заглянуть в будущее за вязкую материю времени и оттуда черпал свои идеи.



Рисунок 8

Но, скорее всего, что это был естественный процесс. Мир требовал перемен, открытия совершались во всех отраслях. Стоит вспомнить прорывные идеи, труды и изобретения таких гениальных людей, как **Микеланджело, Гутенберг, Леонардо да Винчи**. Но первым всё же был и остаётся **Аль-Джазари**.



Рисунок 9

Неизвестно, каким бы был золотой век Центральной Азии, если бы не достижения этого великого учёного-изобретателя (рисунок 9).

Часть 3, Эпоха возрождения

Стр. 55

Биноклярное зрение (см. выше)

Камера-обскура (см. выше)

Лекция 2, тема 3, раздел 2

Стр. 66

Первый закон Кеплера (закон эллипсов) (рисунок 10)

Планеты Солнечной системы движутся по эллиптическим орбитам. В одном из фокусов которой находится Солнце.

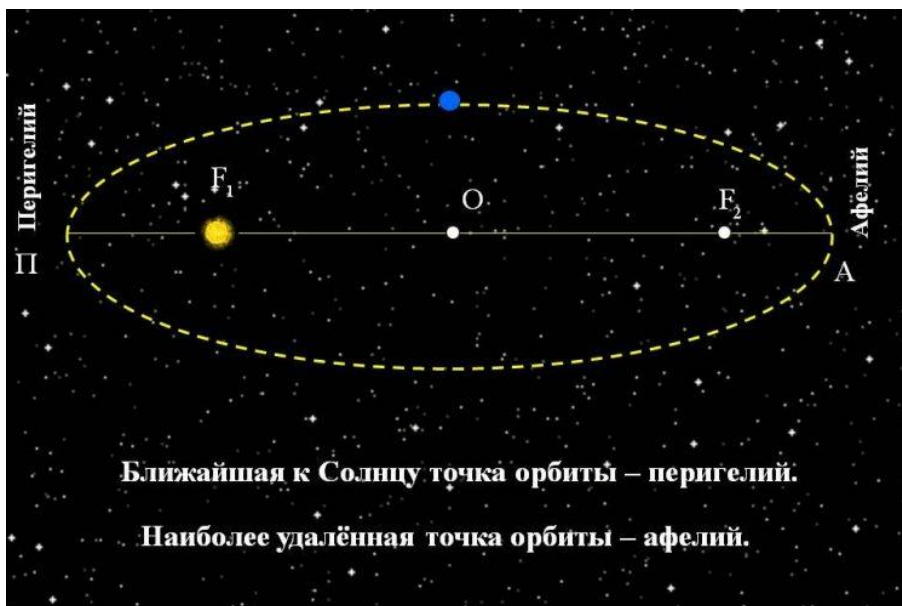


Рисунок 10

Согласно **первому закону Кеплера**, все планеты нашей системы движутся по замкнутой кривой, называемой эллипсом. Наше светило располагается в одном из фокусов эллипса. Всего их два: это две точки внутри кривой, сумма расстояний от которых до любой точки эллипса постоянна.

После длительных наблюдений ученый смог выявить, что орбиты всех планет нашей системы располагаются почти в одной плоскости. Некоторые небесные тела двигаются по орбитам-эллипсам, близким к окружности. И только Плутон с Марсом двигаются по более вытянутым орбитам. Исходя из этого, первый закон Кеплера получил название **закона эллипсов**.

Второй закон Кеплера (закон площадей) (рисунок 11)

Радиус-вектор планеты описывает в равные промежутки времени равные площади.



Рисунок 11

Второй закон Кеплера говорит о следующем: каждая планета перемещается в плоскости, проходящей через центр нашего светила. В одно и то же время радиус-вектор, соединяющий Солнце и исследуемую планету, описывает равные площади. Таким образом, ясно, что тела движутся вокруг желтого карлика неравномерно, а имея в перигелии максимальную скорость, а в афелии – минимальную.

На практике это видно по движению Земли. Ежегодно в начале января наша планета, во время прохождения через перигелий, перемещается быстрее. Из-за этого движение Солнца по эклиптике происходит быстрее, чем в другое время года. В начале июля Земля движется через афелий, из-за чего Солнце по эклиптике перемещается медленнее.

Третий закон Кеплера (гармонический закон) (рисунок 12)

Квадраты периодов обращения планет относятся как кубы больших полуосей их орбит.

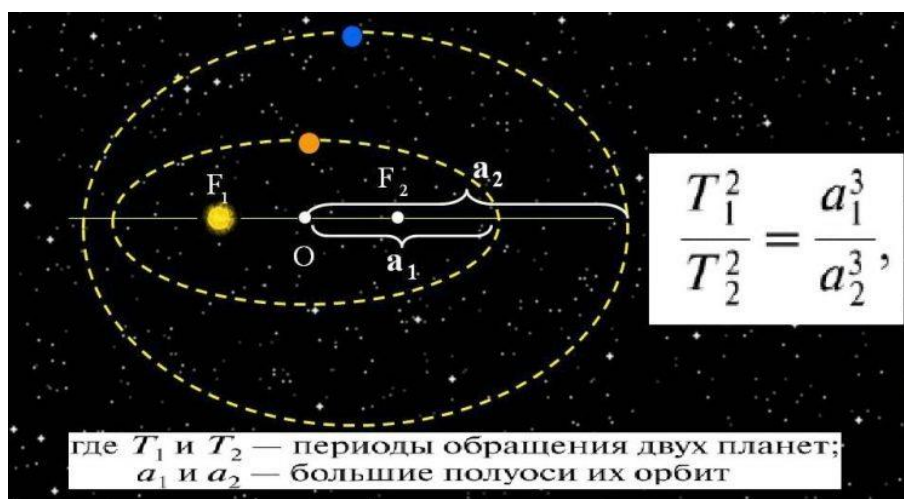


Рисунок 12

По **третьему закону Кеплера**, между периодом обращения планет вокруг светила и ее средним расстоянием от него устанавливается связь. Третий закон Кеплера выполняется как для планет, так и для спутников, с погрешностью не более 1 %.

На основании этого закона можно вычислить продолжительность года (время полного оборота вокруг Солнца) любой планеты, если известно её расстояние до Солнца. И, наоборот, по этому же закону можно рассчитать орбиту, зная период обращения.

Стр. 67

Закон преломления света: Отношение синусов угла падения и угла **преломления** есть величина постоянная для данных сред и называется относительным показателем **преломления** второй среды относительно первой.

Стр. 71

Вариационный принцип (см. выше)

Интерференция — это явление усиления или ослабления амплитуды результирующей волны в результате сложения **когерентных** волн.

Когерентность световых волн означает равенство частот и постоянную разность начальных фаз.

Дифракция света — явление, которое проявляет себя как отклонение от законов геометрической оптики при распространении волн. Она представляет собой универсальное волновое явление и характеризуется одними и теми же законами при наблюдении волновых полей разной природы.

Изначально под дифракцией подразумевалось преломление световой волны на препятствии. Однако сегодня данное толкование считается частичным. С более подробным изучением передвижения волны света под дифракцией стали подразумеваться разнообразные формы распространения света в неоднородной

среде. Это может быть, как огибание препятствия, так и преломление волны из-за него. Кроме того, свет может переходить от точки к точке постепенно. Это образует криволинейный волновой пучок, что связано не с дифракцией, а с геометрической оптикой.

Таким образом, в волновой теории под дифракцией понимается любое отклонение от норм геометрической оптики. Суть процесса заключается в том, что свет при входе в геометрическую тень огибает препятствие.

Дифракция - явление отклонения световых волн от прямолинейного распространения при прохождении света мимо края препятствия. При этом лучи могут попадать в область геометрической тени от препятствия.

Между **интерференцией** и **дифракцией** нет существенного физического различия. Оба явления заключаются в перераспределении светового потока в результате наложения (суперпозиции) волн. По историческим причинам отклонение от закона независимости световых пучков, возникающее в результате суперпозиции когерентных волн, принято называть **интерференцией волн**. Отклонение от закона прямолинейного распространения света, в свою очередь, принято называть **дифракцией волн**.

Поляризация света - это явление выделения из пучка естественного света лучей с определенной ориентацией электрического вектора.

Устройства, позволяющие выделять линейно поляризованный свет из естественного или частично поляризованного света, называются **поляризаторами**.

Если направления колебаний светового вектора каким-то образом упорядочены, свет называется поляризованным.

Аберрация света — изменение направления распространения света (излучения) при переходе из одной системы отсчёта к другой.

При астрономических наблюдениях аберрация света приводит к изменению положения звёзд на небесной сфере вследствие изменения направления скорости движения Земли.

Хроматическая аберрация — разновидность аберрации оптической системы, обусловленная зависимостью показателя преломления среды от длины волны проходящего через неё излучения (то есть, дисперсией света).

Стр. 74

Магдебургские полушария — эксперимент немецкого физика Отто фон Герике для демонстрации силы давления воздуха и изобретённого им воздушного насоса.

В эксперименте использовались «два медных полушария около 14 дюймов (35,5 см) в диаметре, полые внутри и прижатые друг к другу». Из собранной

сферы выкачивался воздух, и полушария удерживались давлением внешней атмосферы.

В 1654 году в Регенсбурге фон Герике продемонстрировал эксперимент Рейхстагу в присутствии императора Фердинанда III. После выкачивания из сферы воздуха 16 лошадей, по 8 с каждой стороны, не смогли разорвать полушария. Неизвестно, использовались ли лошади с обеих сторон для большей зрелищности или по незнанию самого физика, ведь можно было заменить половину лошадей неподвижным креплением, без потери силы воздействия на полушария.

В 1656 Герике повторял эксперимент в Магдебурге, а в 1663 — в Берлине с 24 лошадьми.

Оригинальные полушария хранятся в Немецком музее (нем. *Deutsches Museum*) в Мюнхене (рисунок 13).



Рисунок 13

Лекция 3, тема 3, раздел 3

Первый этап, часть 1

Стр. 78

Принцип Гюйгенса: каждая точка фронта (поверхности, достигнутой волной) является вторичным (то есть новым) источником сферических волн. Огибающая фронтов волн всех вторичных источников становится фронтом волны в следующий момент времени (рисунок 14).

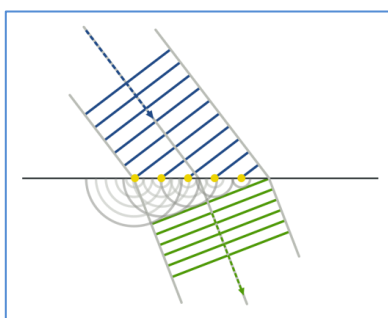


Рисунок 14

Рисунок 14. **Рефракция** волн по Гюйгенсу: синие линии и синяя стрелка — фронты падающей волны и направление вектора фазовой скорости в первой среде; жёлтые точки и серые полуокружности — вторичные источники на границе раздела двух сред и фронты порождённых ими сферических волн во второй среде; зелёные линии и зелёная стрелка — фронты преломлённой волны и направление вектора фазовой скорости во второй среде

Стр. 80

Принцип Даламбера (определение): *если к действующей на тело активной силе и реакции связи приложить дополнительную силу инерции, то тело будет находиться в равновесии (сумма всех сил, действующих в системе, дополненная главным вектором инерции, равна нулю)*

Вариационный принцип (см. выше)

Стр. 88

Калóрия — внесистемная единица количества теплоты; энергия, необходимая для нагревания 1 грамма воды с 19.5 до 20.5 градусов Цельсия.

Стр. 90

Обертоном называется любая собственная частота выше первой, самой низкой (*основной тон*).

Обертоны (нем. *ober* — высокий, *Тон* — звук) в акустике — призвуки, входящие в спектр звука. **Обертоны** – **высокочастотные призвуки**, которые сопровождают любой звук. Высота обертонов выше основного тона, поэтому они и получили такое название.

Фотометрия — общая для всех разделов прикладной оптики научная дисциплина, на основании которой производятся количественные измерения энергетических характеристик поля излучения.

Фотóметр - прибор для измерения каких-либо из фотометрических величин, чаще других — одной или нескольких световых величин.

Ахроматический объектив, ахромát — объектив, в котором исправлена хроматическая аберрация (*Хроматическая абerrация — разновидность аберрации оптической системы, обусловленная зависимостью показателя преломления среды от длины волны проходящего через неё излучения (то есть, дисперсией света).*

В простейшем случае ахроматический объектив представляет собой дублет, склеенный из двух линз, одна из которых положительная, а другая — отрицательная.

Первый этап, часть 2

Стр. 93

Интерференция (см. выше).

Дифракция (см. выше).

Поляризация света (см. выше)

Стр. 98

Гальванопластика — это электрохимический процесс, в ходе которого воссоздается форма изделия за счет осаждения на нем металла.

Гальванопластика — технология получения точных металлических копий различных предметов, путем осаждения разнородных металлов на модели.

Борис Семёнович Якоби прославился открытием гальванопластики.

Стр. 99

Электролиз — физико-химический процесс, состоящий в выделении на *электродах* составных частей растворённых веществ или других веществ, являющихся результатом вторичных реакций на электродах, который возникает при прохождении электрического тока через раствор, либо расплав *электролита*.

Катодом при электролизе называется отрицательный электрод, **анодом** — положительный.

Ион — атом или молекула, которая имеет электрический заряд. Если ион имеет положительный заряд, он называется катионом, а если отрицательный — анионом.

Диамагнетики вещества, намагничивающиеся против направления внешнего магнитного поля.

Парамагнетики — вещества, которые намагничиваются во внешнем магнитном поле *в направлении* внешнего магнитного поля ($\vec{J} \uparrow \uparrow \vec{H}$) и имеют положительную магнитную восприимчивость, но значительно меньшую единицы.

Стр. 101

Ток смещения, величина, пропорциональная скорости изменения переменного электрического поля в диэлектрике или вакууме. Название «ток» связано с тем, что ток смещения, также как и ток проводимости, порождает магнитное поле.

Стр. 102

Парциальное давление — давление, которое имел бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объём, равный объёму смеси при той же температуре. Общее давление газовой смеси является суммой парциальных давлений её компонентов.

Закон Гей-Люссака — при постоянном давлении объём постоянной массы газа пропорционален абсолютной температуре.

Стр. 104

Закон сохранения энергии — один из наиболее важных законов, согласно которому физическая величина — энергия сохраняется в изолированной системе. Этому закону подчиняются все без исключения известные процессы в природе. В изолированной системе энергия может только превращаться из одной формы в другую, но ее количество остается постоянным.

Стр. 105

Первое начало термодинамики распространяет закон сохранения энергии на термические системы и процессы, связанные с передачей энергии в форме теплоты.

Второе начало термодинамики накладывает ограничения на направление термодинамических процессов, запрещая самопроизвольную передачу тепла от менее нагретых тел к более нагретым. Также формулируется как закон возрастания (неубывания) энтропии.

Энтропия - функция состояния термодинамической системы), обозначающий меру необратимого рассеивания энергии или бесполезности энергии (потому что не всю энергию системы можно использовать для превращения в какую-нибудь полезную работу).

За энтропию в термодинамике принимается мера неупорядоченности системы. То есть, чем больше энтропия, тем меньше равновесия. Проще говоря, энтропия – это мера беспорядка.

Стр. 109

Аберрация света (см. выше)

Второй этап**Стр. 114**

Эффект Холла – явление возникновения поперечной разности потенциалов (называемое также холловским напряжением) при помещении проводника с постоянным током в магнитное поле.

Стр. 115

Правило фаз Гиббса утверждает, что число степеней свободы C равновесной термодинамической системы разности между числом компонентов K и числом фаз Φ , плюс число факторов n , влияющих на равновесие $C = K - \Phi + n$

Стр. 119

Спин в квантовой механике обозначает собственный момент импульса отдельных элементарных частиц и их связанных состояний в виде ядер и атомов. В отличие от орбитального момента импульса, спин не связан с перемещением в пространстве центра инерции частицы, и является её внутренней характеристикой.

Алекса́ндр Григо́рьевич Столе́тов. Получил кривую намагничивания железа.

Третий этап**Стр. 124**

Эффект Зеемана — расщепление линий атомных спектров в магнитном поле.

Эффект обусловлен тем, что в присутствии магнитного поля электрон, обладающий магнитным моментом, приобретает дополнительную энергию.

Стр. 126

Экспоненциальное (или **показательное**) **распределение** — абсолютно непрерывное распределение, моделирующее время между двумя последовательными свершениями одного и того же события.

Гравитационный парадокс, или **парадокс Неймана — Зелигера**, - в бесконечной Вселенной с евклидовой геометрией и ненулевой средней плотностью вещества гравитационный потенциал всюду принимает бесконечное значение.

Стр. 127

Принцип относительности Галилея гласит: Механические явления происходят одинаково во всех инерциальных системах отсчёта, т.е. описывающие их законы динамики одинаковы. Поэтому все инерциальные системы отсчёта равноправны.

Лекция 4, тема 3, раздел 4

Первый этап

Стр. 132

Электродвижущая сила (ЭДС) — скалярная физическая величина, характеризующая работу сторонних сил (то есть любых сил, кроме электростатических и диссипативных) действующих в квазистационарных цепях постоянного или переменного тока.

Электродвижущая сила, сокращенно **ЭДС**, возникает в источнике тока и при отсутствии тока в цепи, то есть когда цепь разомкнута. При холостом ходе, то есть при отсутствии тока в цепи, ЭДС равна разности потенциалов на зажимах источника энергии. Так же как и разность потенциалов ЭДС измеряется в вольтах.

Электродвижущая сила - это не что иное, как работа, которая совершается сторонними силами для поддержания разности потенциалов в цепочке (рисунок 15).

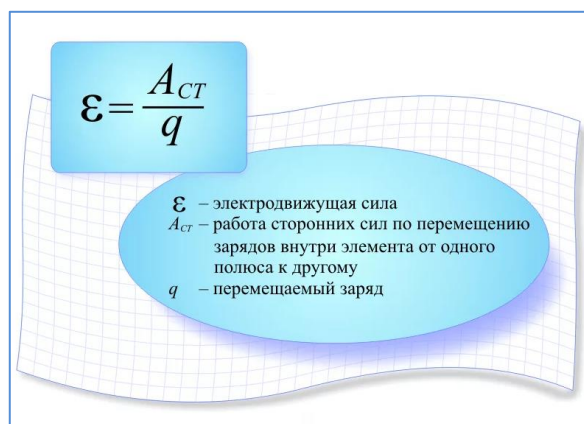


Рисунок 15

Гальванометр (от фамилии учёного Луиджи Гальвани и слова др.-греч. μέτρον — «измеряю») — высокочувствительный прибор для

измерения силы малых постоянных электрических токов. В отличие от обычных микроамперметров шкала гальванометра может быть проградуирована не только в единицах силы тока, но и в единицах напряжения, единицах других физических величин.

Стр. 133, 134

Рентгеновское излучение – электромагнитные волны с длиной волны от 100 до 10^{-3} нм (10^{-7} - 10^{-12} м). На шкале электромагнитных волн рентгеновское излучение занимает область между УФ-излучением и γ -излучением.

В таблице 2 приведена классификация электромагнитных волн:

Таблица 2

<i>Название</i>	<i>Длина волны, м</i>	<i>Частота, Гц</i>
радиоволны	$3 \cdot 10^5 - 3$	$10^3 - 10^8$
микроволны	$3 - 3 \cdot 10^{-3}$	$10^8 - 10^{11}$
инфракрасное излучение	$3 \cdot 10^{-3} - 8 \cdot 10^{-7}$	$10^{11} - 4 \cdot 10^{14}$
видимый свет	$8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{14}$
ультрафиолетовое излучение	$4 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-9}$	$8 \cdot 10^{14} - 10^{17}$
рентгеновское излучение	$3 \cdot 10^{-9} - 10^{-10}$	$10^{17} - 3 \cdot 10^{18}$
гамма-излучение	$< 10^{-10}$	$> 3 \cdot 10^{18}$

Стр. 134, 135

Принцип относительности (принцип относительности Эйнштейна) — фундаментальный физический принцип, один из принципов симметрии, согласно которому все физические процессы в инерциальных системах отсчёта протекают одинаково, независимо от того, неподвижна ли система или она находится в состоянии равномерного и прямолинейного движения.

Отсюда следует, что все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчёта.

Частным случаем *принципа относительности Эйнштейна* является **принцип относительности Галилея**, который утверждает то же самое, но не для всех законов природы, а только для законов классической механики,

подразумеваемая применимость преобразований Галилея и оставляя открытым вопрос о применимости принципа относительности к оптике и электродинамике.

В математической физике, **пространство Минковского** (или Минковского пространство-время) представляет собой комбинацию трехмерного евклидова пространства и времени в четырехмерном многообразии, где пространственно-временной интервал между любыми двумя событиями не зависит от инерциальной системы отсчета, в которой они записаны. Математическая структура пространства-времени Минковского подразумевается постулатами специальной теории относительности.

Специальная теория относительности (СТО; также частная теория относительности) — теория, описывающая движение, законы механики и пространственно-временные отношения при произвольных скоростях движения, меньших скорости света в вакууме, в том числе близких к скорости света (в рамках **специальной теории относительности** классическая механика Ньютона является приближением низких скоростей).

Общая теория относительности (ОТО нем. *allgemeine Relativitätstheorie*) — общепринятая в настоящее время теория тяготения, описывающая тяготение как проявление геометрии пространства-времени. Предложена Альбертом Эйнштейном в 1915—1916 годах.

В этой теории постулируется, что гравитационные и инерциальные силы имеют одну и ту же природу. Отсюда следует, что гравитационные эффекты обусловлены не силовым взаимодействием тел и полей, находящихся в пространстве-времени, а деформацией самого пространства-времени, которая связана, в частности, с присутствием массы-энергии.

Релятивистская динамика - раздел частной теории относительности, посвященный изучению движения материальных тел под действием приложенных к ним сил. В теории относительности свободные, т. е. не подверженные действию сил, материальные точки имеют в качестве своих мировых линий времениподобные или изотропные геодезические.

Релятивистская механика — раздел физики, рассматривающий законы механики (законы движения тел и частиц) при скоростях, сравнимых со скоростью света. При скоростях значительно меньших скорости света переходит в классическую (ньютоновскую) механику.

Релятивизм (от лат. *Relativus* — относительный) — методологический принцип, состоящий в абсолютизации относительности и условности содержания познания.

Релятивизм происходит из одностороннего подчёркивания постоянной изменчивости действительности и отрицания относительной устойчивости вещей и явлений.

Релятивистский, термин, употребляемый в физике для явлений, обусловленных движением со скоростями, близкими к скорости света, либо сильными полями тяготения. Такие явления описываются теорией относительности.

Теория инвариантов — раздел общей алгебры, изучающий действия групп на алгебраических многообразиях с точки зрения их влияния на функции, определённые на этих многообразиях. Классический вопрос теории — описать многочлены, которые не меняются или являются инвариантными в отношении к преобразованиям, заданным линейной группой.

Неевклидова геометрия — в буквальном понимании — любая геометрическая система, которая отличается от геометрии Евклида; однако традиционно термин «неевклидова геометрия» применяется в более узком смысле и относится только к двум геометрическим системам: геометрии Лобачевского и сферической геометрии (или схожей с ней геометрии Римана).

Четырёхмерное пространство (обозначения: **4D**) математический объект, обобщающий свойства трёхмерного пространства. Его не следует путать с четырёхмерным пространством-временем теории относительности (пространством Минковского).

Алгебраически **четырёхмерное пространство** может быть построено как множество векторов с четырьмя вещественными координатами. Геометрически в простейшем случае **четырёхмерное пространство** рассматривается как евклидово пространство четырёх измерений, в более общем рассмотрении оно имеет неевклидову метрику, переменную от точки к точке.

Четырёхмерное пространство можно также представить как бесконечное количество трёхмерных пространств, расположенных по четвёртой оси координат, так же, как трёхмерный мир состоит из бесконечного количества двумерных плоскостей, размещённых вдоль третьей оси.

Стр. 136

Изотопы (греч. isos - одинаковый + topos - место) - общее название разновидностей одного и того же химического элемента, имеющих одинаковый заряд ядра (число протонов), но разное число нейтронов.

Стр. 137

Эффéкт Зеемáна (см. выше)

Спин (см. выше)

Принцип Паули (принцип запрета) — один из фундаментальных принципов квантовой механики, согласно которому два и более тождественных фермиона (частицы с полуцелым спином) не могут одновременно находиться в одном и том же квантовом состоянии.

Стр. 139

Фотоэффект, или **фотоэлектрический эффект**, — явление взаимодействия света или любого другого электромагнитного излучения с веществом, при котором энергия фотонов передаётся электронам вещества. В конденсированных (твёрдых и жидких) веществах выделяют внешний (поглощение фотонов сопровождается вылетом электронов за пределы тела) и внутренний (электроны, оставаясь в теле, изменяют в нём своё энергетическое состояние) фотоэффект. **Фотоэффект** в газах состоит в ионизации атомов или молекул под действием излучения.

Фотоэлектрический эффект — явление вылета электрона из твёрдых и жидких тел под воздействием электромагнитного излучения.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта есть не что иное, как закон сохранения энергии. На что идёт энергия фотона $h\nu$? При его неупругом столкновении с электроном? Она расходуется на совершение работы выхода A по извлечению электрона из вещества и на придание электрону кинетической энергии $mv^2/2$:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}.$$

Стр. 141

Принцип Ферма основной принцип геометрической оптики. Простейшая форма **принципа Ферма** - утверждение, что луч света всегда распространяется в пространстве между двумя точками по тому пути, по которому время его прохождения меньше, чем по любому из всех других путей, соединяющих эти точки.

Принцип Ферма (принцип наименьшего времени Ферма) — постулат в геометрической оптике, согласно которому свет выбирает из множества путей между двумя точками тот путь, который потребует наименьшего времени. То есть луч света движется из начальной точки в конечную точку по пути, минимизирующему время движения (или, что то же самое, минимизирующему оптическую длину пути). В более точной формулировке: свет выбирает один путь из множества близлежащих, требующих почти одинакового времени для прохождения; другими словами, любое малое изменение этого пути не приводит в первом порядке к изменению времени прохождения.

Принцип Мопертюи — принцип, согласно которому консервативная голономная система в классической механике изменяет своё состояние так, чтобы интеграл от корня квадратного её кинетической энергии был минимален на траектории движения.

Принцип наименьшего действия, интегральный вариационный принцип механики. Формулируется в различных формах, отличающихся друг от друга классом сравниваемых кинематически возможных движений и выбором некоторого определённого интеграла, называемого действием, значения которого сравниваются для истинного и кинематически возможных движений.

Первую словесную формулировку **принципа наименьшего действия** дал **П.Л. Мопертюи** в 1744 году. Он утверждал, что когда в природе происходит некоторое изменение, то количество действия, необходимого для этого изменения, является наименьшим из всех возможных.

Эффект Рамзауэра (известен также как **эффект Рамзауэра — Таунсенда**) — явление аномально слабого рассеяния медленных электронов атомами нейтральных газов. Впервые наблюдался в 1921 немецким физиком **Карлом Рамзауэром** при изучении рассеяния электронов в аргоне, а позже эффект наблюдался и в других веществах.

Эффект не может быть описан с точки зрения классической механики, поэтому его открытие сыграло важную роль при становлении квантовой механики.

Стр. 142

Матричная механика — математический формализм квантовой механики, разработанный **Вернером Гейзенбергом, Максом Борном и Паскуалем Иорданом** в 1925 году.

Матричная механика была первой концептуально автономной и логически последовательной формулировкой квантовой механики. Её учет квантовых скачков вытеснил модель **Бора** орбитами электронов. Это было сделано путем интерпретации физических свойств частиц как матриц, которые эволюционируют во времени. Это эквивалентно волновой формулировке **Шредингера** квантовой механики, как показано в бюстгальтерной нотации **Дирака**.

В некотором контрасте с волновой формулировкой она дает спектры операторов (в основном энергетических) чисто алгебраическими, лестничными методами. Опираясь на эти методы, **Паули** получил спектр атома водорода в 1926 году, еще до появления волновой механики.

Эрмитова (или **самосопряжённая**) **матрица** — квадратная **матрица**, элементы которой являются комплексными числами, и которая, будучи транспонирована, равна комплексно сопряжённой.

Оператор Гамильтона. Один из весьма плодотворных подходов, позволяющих сформулировать соотношения между функциями, основан на использовании понятия **оператора**, то есть последовательного набора команд, осуществляющих преобразование одной функции в другую.

Второй этап Стр. 151

Гамма-излучение (γ -излучение) – электромагнитное излучение, принадлежащее наиболее высокочастотной (коротковолновой) части спектра электромагнитных волн.

На шкале электромагнитных волн гамма-излучение соседствует с рентгеновскими лучами, но имеет более короткую длину волны. Первоначально термин “гамма-излучение” относился к тому типу излучения радиоактивных ядер, который не отклонялся при прохождении через магнитное поле, в отличие от α - и β -излучений.

Условно верхней границей длин волн гамма-излучения, отделяющей его от рентгеновского излучения, можно считать величину 10^{-10} м. При столь малых длинах волн первостепенное значение имеют корпускулярные свойства излучения. Гамма-излучение представляет собой поток частиц - гамма-квантов или фотонов.

Инверсия населённостей

Инверсию населенности можно создать в различных средах: полупроводниках, диэлектриках, жидкостях, газах, плазме. К настоящему времени существует большое число способов создания инверсии населенности, например:

- 1) за счет столкновений и обмена энергией между частицами;
- 2) с помощью источника оптического излучения;
- 3) сортировкой частиц в неоднородных электрических и магнитных полях;
- 4) использование химических реакций;
- 5) за счет инжекции носителей в полупроводниках.

Итак, для создания инверсии населенностей находят применение в настоящее время два основных метода: сортировка частиц по энергетическим состояниям и различные способы накачки. Метод сортировки частиц используется для создания инверсии населенностей в газообразных веществах.

В качестве сортирующего устройства используется квадрупольный конденсатор, представляющий собой четыре параллельно расположенных металлических стержня. К стержням подводится постоянное напряжение

порядка 20 кВ. Напряженность электрического поля между стержнями максимальна вблизи стержней и равна нулю на оси симметрии конденсатора, вдоль которой движутся молекулы аммиака.

Фотон с энергией $E_2 - E_1$ может с равной вероятностью инициировать как переход $E_1 \rightarrow E_2$, так и переход $E_2 \rightarrow E_1$. Всё дело в том, на каком энергетическом уровне находится взаимодействующий с фотоном активный центр. Если на нижнем рабочем уровне (E_1) находится больше активных центров, чем на верхнем уровне (E_2), то будут преобладать процессы поглощения света. Если же, наоборот, на уровне E_1 находится меньше активных центров, чем на уровне E_2 , то будут преобладать процессы вынужденного испускания света. Нам важно, чтобы преобладали процессы вынужденного испускания света. Следовательно, необходимо, чтобы населённость верхнего рабочего уровня n_2 оказалась выше населённости нижнего уровня n_1 , т.е. чтобы выполнялось условие

$$n_2 > n_1$$

называемое условием инверсии (обращения) населённостей рабочих уровней.

Активную среду, для активных центров которой выполняется условие инверсии, называют *инвертированной активной средой*.

Инверсию населённостей, в данном случае, производят током накачки I_H .

Основной физический процесс, определяющий действие лазера, - это вынужденное испускание излучения. Оно происходит при взаимодействии фотона с возбужденным атомом при точном совпадении энергии фотона с энергией возбуждения атома (или молекулы)

В результате этого взаимодействия атом переходит в невозбужденное состояние, а избыток энергии излучается в виде нового фотона с точно такой же энергией, направлением распространения и поляризацией, как и у первичного фотона. Таким образом, следствием данного процесса является наличие уже двух абсолютно идентичных фотонов. При дальнейшем взаимодействии этих фотонов с возбужденными атомами, аналогичными первому атому, может возникнуть “цепная реакция” размножения одинаковых фотонов, “летающих” абсолютно точно в одном направлении, что приведет к появлению узконаправленного светового луча. Для возникновения лавины идентичных фотонов необходима среда, в которой возбужденных атомов было бы больше, чем невозбужденных, поскольку при взаимодействии фотонов с невозбужденными атомами происходило бы поглощение фотонов.

Такая среда называется *средой с инверсной населенностью уровней энергии*.

К части 2

Лекция 7, тема 6

Стр. 38

Мультиплексирование

В информационных технологиях и связи, **мультиплексирование** (англ. *multiplexing*, *muxing*) — уплотнение канала связи, то есть передача нескольких потоков данных с меньшей скоростью по одному каналу связи. Или иначе: создание в исходном канале связи нескольких подканалов связи с меньшей пропускной способностью.

В телекоммуникациях мультиплексирование подразумевает передачу данных по нескольким логическим каналам связи в одном физическом канале. Под физическим каналом подразумевается реальный канал со своей пропускной способностью — медный или оптический кабель, радиоканал.

В информационных технологиях мультиплексирование подразумевает объединение нескольких потоков данных (виртуальных каналов) в один. Примером может послужить видеофайл, в котором поток (канал) видео объединяется с одним или несколькими каналами аудио.

Устройство или программа, осуществляющая мультиплексирование, называется **мультиплексором**.

Стр. 40

Флинт (от англ. *flint* — камень), или **флинтглас** (от нем. *Flintglas*) — тип бесцветных оптических стёкол, отличающихся малыми (менее 50) значениями коэффициента средней дисперсии, называемого также числом Аббе. Такие стёкла с относительно малыми показателями преломления называют *лёгкими флинтами*, а с большими — *тяжёлыми*. В советской конструкторской документации разные сорта стекла флинтглас обозначались буквами: **КФ** — крон-флинт; **БФ** — баритовый флинт; **ТБФ** — тяжёлый баритовый флинт; **ЛФ** — лёгкий флинт; **Ф** — флинт; **ТФ** — тяжёлый флинт; **ОФ** — особый флинт.

Оптические стёкла, получаемые на основе использования кремнезёма и оксидов свинца, известны с XVII века. В Англии их получали путём варки в горшках без перемешивания стекломассы.

В состав большей части флинтов входит оксид свинца **PbO**. Силикатные флинты обычно кроме **SiO₂** и **PbO** содержат только щелочные окислы, при этом содержание **PbO** может достигать 70 мол. %, что приблизительно равно 90 мас. %.

Основой выпускаемых в настоящее время оптических стёкол типа флинтов (**Ф**) и тяжёлых флинтов (**ТФ**) также является тройная система из окислов кремния, свинца и калия, а некоторые марки флинтов содержат двуокись титана.

Как и баритовые кроны, баритовые (**БФ**) и особые флинты (**ОФ**), а также кронфлинты (**КФ**) могут содержать окись цинка и окись сурьмы. В состав боросиликатных флинтов типа **ТБФ** входят окислы редкоземельных элементов. Показатель преломления современных флинтов может превосходить значение 1,9.

Стр. 43

Эффект Поккельса - линейный электрооптический эффект, состоящий в изменении показателей преломления света в кристаллах под действием внешнего электрического поля пропорционально напряжённости электрического поля ***E***. Следствием этого эффекта в кристаллах является двойное лучепреломление или изменение величины уже имеющегося двулучепреломления.

Эффект Поккельса может наблюдаться только в кристаллах, не обладающих центром симметрии: в силу линейности при изменении направления поля эффект должен менять знак, что невозможно в центрально-симметричных телах. Эффект хорошо заметен в кристаллах ниобата лития или арсенида галлия.

Стр. 48

Преобразование непрерывного первичного аналогового сигнала в цифровой код называется ***импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ)***. В телекоммуникациях в качестве основания кода выбрана двоичная последовательность, реализуемая с наименьшими аппаратными затратами. Основными операциями при ИКМ являются операции дискретизации по времени, квантования (дискретизации по уровню дискретного по времени сигнала) и кодирования.

Дискретизацией аналогового сигнала по времени называется преобразование, при котором представляющий параметр аналогового сигнала задается совокупностью его значений в дискретные моменты времени.

Стр. 53

Единицы измерения мощности излучения, вводимой в волокно

Оптическая мощность измеряется в линейных единицах - милливаттах (мВт), микроваттах (мкВт) и нановаттах (нВт), а также в дБм - абсолютных уровнях мощности (уровнях мощности по отношению к 1 мВт).

В чем заключается отличие между "дБм" и "дБ"?

дБ - отношение двух мощностей, например потерь (затухания) в оптическом волокне. При измерении мощности в линейных единицах (мВт, мкВт или нВт), дБ рассчитываются по формуле:

$$\text{потери (дБ)} = 10 \lg (P_1/P_2)$$

Если мы измеряем абсолютные уровни, измеренные по отношению к 1 милливатту (мВт), то они выражаются в "дБм", и вычисляются следующим образом:

$$\text{Уровень мощности (дБм)} = 10 \lg(\text{мВт}/1 \text{ мВт})$$

Таким образом, 1 мВт = 0 дБм, 1 мкВт = -30 дБм, 1 нВт = -60 дБм, а две равных величины составляют 0 дБ (то есть мощность не изменяется, а, следовательно, потери отсутствуют.)

Стр. 55, 56

Эпитаксия — это закономерное нарастание одного кристаллического материала на другом при более низких температурах (от греч. *Επι* — *на* и *ταξις* — *упорядоченность*), то есть ориентированный рост одного кристалла на поверхности другого (подложки). Строго говоря, рост всех кристаллов можно назвать эпитаксиальным: каждый последующий слой имеет ту же ориентировку, что и предыдущий. Различают **гетероэпитаксию**, когда вещества подложки и нарастающего кристалла различны (процесс возможен только для химически не взаимодействующих веществ, например, так изготавливают интегральные преобразователи со структурой кремний на сапфире), и **гомоэпитаксию**, когда они одинаковы. Ориентированный рост кристалла внутри объёма другого называется **эндотаксией**.

Эпитаксия является одним из базовых процессов технологии изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем.

Разработкой многослойных эпитаксиальных структур на основе твердых растворов GaAlAsSb и InGaAsP для фотоприемников и излучателей занимался «Гиредмет» Минцветмета. Химические элементы указанных растворов на рисунке 16 закрашены желтым цветом.

I		ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА										VII		VIII				
1	H водород 1,007184											(H)	2	He гелий 4,002602	 Периодический закон открыт Д. И. МЕНДЕЛЕЕВЫМ в 1869 году			
2	Li литий 6,94	3	Be бериллий 9,012182	4	B бор 10,81	5	C углерод 12,011	6	N азот 14,0067	7	O кислород 15,999	8	F фтор 18,9984032	9		Ne неон 20,18		
3	Na натрий 22,98976928	11	Mg магний 24,304	12	Al алюминий 26,9815385	13	Si кремний 28,0855	14	P фосфор 30,973761998	15	S сера 32,06	16	Cl хлор 35,45	17		Ar аргон 39,948		
4	K калий 39,0983	19	Ca кальций 40,078	20	Sc скандий 44,955912	21	Ti титан 47,867	22	V ванадий 50,9415	23	Cr хром 51,9961	24	Mn марганец 54,938045	25		Fe железо 55,845	26	Co кобальт 58,933194
	Cu медь 63,546	29	Zn цинк 65,38	30	Ga галлий 69,723	31	Ge германий 72,630	32	As мышьяк 74,9216	33	Se селен 78,94	34	Br бром 79,904	35		Kr криптон 83,80	36	Ni никель 58,6934
	Rb рубидий 85,4678	37	Sr стронций 87,62	38	Y иттрий 88,90584	39	Zr цирконий 91,224	40	Nb ниобий 92,90638	41	Mo молибден 95,94	42	Tc технеций 98,9062	43		Ru рутений 101,07	44	Rh родий 102,9055
5	Ag серебро 107,8682	47	Cd кадмий 112,411	48	In индий 114,818	49	Sn олово 118,710	50	Sb сурьма 121,757	51	Te теллур 127,6	52	I йод 126,90446	53		Xe ксенон 131,29	54	Pd палладий 106,9051
	Cs цезий 132,90545	55	Ba барий 137,33	56	La лантаноиды	57	Hf hafний 178,49	72	Ta тантал 180,94735	73	W вольфрам 183,84	74	Re рений 186,207	75		Os осмий 190,23	76	Ir иридий 192,222
6	Au золото 196,966569	80	Hg ртуть 200,59	81	Tl таллий 204,377	82	Pb свинец 207,2	83	Bi висмут 208,9804	84	Po полоний (209)	85	At астат (210)	86		Rn радон (222)	87	Pt платина 195,084
7	Fr франций (223)	87	Ra радий 226,2054	88	Ac актиноиды	89	Ku куратовий	104	Ns нильсборний	105						106	Lu лютеций	
* ЛАНТАНОИДЫ																		
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
57 138,90547 ЛАНТАН	58 140,12 ЦЕРИЙ	59 140,90768 ПРАЗМОДИЙ	60 144,24 НЕОДИМ	61 144,9126 ПРОМЕТИЙ	62 150,36 САМАРИЙ	63 151,964 ЕВРОПИЙ	64 157,25 ГАДОЛИНИЙ	65 158,92534 ТЕРБИЙ	66 162,50 ДИСПРОСИЙ	67 164,93032 ГОЛЬМИЙ	68 167,259 ЭРБИЙ	69 168,934 ТУЛЬИЙ	70 173,0447 ИТТЕРБИЙ	71 174,967 ЛЮТЕЦИЙ				
* АКТИНОИДЫ																		
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				
89 (227) АКТИНИЙ	90 (232) ТОРИЙ	91 (231) ПРОАКТИНИЙ	92 (238) УРАН	93 (237) НЕПУТЧИЙ	94 (244) ПУЛТОНИЙ	95 (243) АМЕРИЦИЙ	96 (247) КУРИЙ	97 (247) БЕРКЛИЙ	98 (251) КАЛИФОРНИЙ	99 (254) ЭЙНШТЕЙНИЙ	100 (254) ФЕРМИЙ	101 (259) МЕНДЕЛЕВИЙ	102 (261) НОБЕЛИЙ	103 (262) ЛОРЕНЦИЙ				

Рисунок 16

Дисперсия света (*разложение света; светорассеяние*) — это совокупность явлений, обусловленных зависимостью абсолютного показателя преломления вещества от частоты (или длины волны) света (частотная дисперсия), или, то же самое, зависимостью фазовой скорости света в веществе от частоты (или длины волны). Экспериментально открыта Исааком Ньютоном около 1672 года, хотя теоретически достаточно хорошо объяснена значительно позднее.

Пространственной дисперсией называется зависимость тензора диэлектрической проницаемости среды от волнового вектора. Такая зависимость вызывает ряд явлений, называемых эффектами пространственной поляризации.

Гидрофобный наполнитель — используется в конструкции кабеля связи для предотвращения продольного распространения влаги и воды. Таким образом, в случае нарушения целостности оболочки кабеля, гидрофобный наполнитель препятствует протеканию воды по кабелю, что позволяет заменить лишь небольшой участок кабеля при ремонтных работах.

В конструкции волоконно-оптического кабеля различают внутримодульный наполнитель (filling), применяемый внутри трубок с волокном (т.н. модулей), и межмодульный наполнитель (flooding), применяемый поверх скрутки модулей, а также под слоем брони. При применении оптико-волоконного кабеля с гидрофобным наполнителем необходимо учесть температуру замерзания (кристаллизации) наполнителя, поскольку замерзание гидрофобного наполнителя при эксплуатации кабеля недопустимо: кристаллы повредят волокно и модули. В России принято использовать гидрофобные наполнители, рассчитанные на рабочие температуры от -40 до -70 градусов Цельсия.

В качестве наполнителя могут использоваться такие вещества, как:

- специальные гелеобразные компаунды (гидрофобные гели), в том числе тиксотропные

- вазелин
- специальные масла

Тиксотропные материалы используют в технологии силикатов, пластических масс, пищевых продуктов. **Тиксотропными** свойствами обладают некоторые водоносные грунты (плывуны), биологические структуры, различные технические материалы (промывочные глинистые растворы, применяемые при бурении нефтяных скважин, краски, смазки и др.).

Гидрофобный наполнитель изготавливается на основе минерального масла с добавками полиэтилена, полиэтиленового воска и синтетического каучука. Гидрофобный наполнитель вводится в сердечник кабеля в горячем виде. Кабели с гидрофобным наполнением обладают продольной влагонепроницаемостью сердечника. В случае повреждения его оболочки гидрофобный наполнитель достаточно надежно препятствует проникновению воды только при условии полного заполнения всех промежутков между изолированными жилами. Это не всегда технически возможно из-за усадки гидрофобного наполнителя в условиях хранения, транспортировки и эксплуатации при отрицательных температурах. Кроме того, гидрофобный наполнитель - это вязкая вазелиновая масса, которую необходимо длительно и тщательно очищать с конструктивных элементов кабеля, инструмента и рабочего места. Это увеличивает трудоемкость и продолжительность монтажа ремонтно-восстановительных работ, и соответственно время восстановления кабельных линий.

Дисперсия – это рассеяние во времени спектральных или модовых составляющих оптического сигнала, которое приводит к увеличению длительности импульса оптического излучения при распространении его по ОВ.

Дисперсия искажает сигнал во время передачи, уменьшает эффективную пропускную способность передачи. Основные типы дисперсии: модовая дисперсия, хроматическая дисперсия, и поляризационная дисперсия.

Межмодовая дисперсия

Межмодовая дисперсия обычно происходит в многомодовом оптоволокне. Когда короткий световой импульс вводится в волокно в пределах числовой апертуры, вся энергия не достигает конца оптоволокна одновременно. Разные моды переносят энергию по разным длинам. Например, многомодовое волокно с сердечником в 50 мкм имеет несколько сотен мод. Это импульс, распространяясь по разным длинам светового пути вызывает межмодовую дисперсию, или более просто, многомодовую дисперсия.

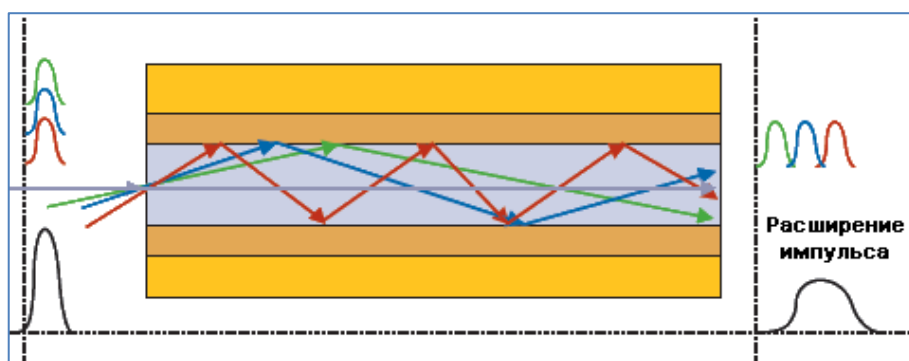


Рисунок 17. Расширение импульса в многомодовом оптоволокне

Хроматическая дисперсия

Хроматическая дисперсия (Chromatic Dispersion — CD) происходит, потому что световой импульс имеет разные длины волны, каждый перемещается по волокну на различных скоростях. Различные скорости распространения расширяют импульс, и когда он достигает приёмника — в нём уменьшается отношение сигнал-шум (SNR) и увеличиваются битовые ошибки.

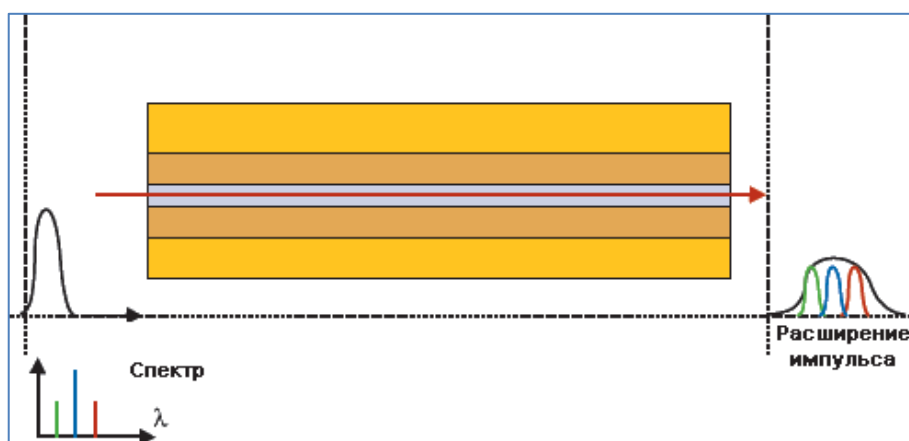


Рисунок 18. Хроматическая дисперсия вызывается различными длинами волны в источнике света

Хроматическая дисперсия этого волокна представляет относительную задержку прибытия (в пикосекундах — пс) два компонента длины волны отделяются на один нанометр (нм). Далее рассмотрены четыре параметра:

- Значение хроматической дисперсии выражается для данной длины волны, выраженной в пс/нм (хроматическая дисперсия может изменяться как функция длины волны),
- Коэффициент хроматической дисперсии (D) — значение нормализуется к расстоянию, обычно один километр, выражается в пс/(нм·км)
- Наклон хроматической дисперсии (S) — Представляет количество изменения дисперсии как функции к длины волны, выражается в пс/нм²

- Наклон коэффициента хроматической дисперсии — нормализуется к расстоянию, обычно на один километр, выражается в пс/(нм²·км)

Длина волны нулевой дисперсии λ_0 , выражается в нм, является длиной волны с хроматической дисперсией равной нулю. Работа в этой длине волны не вызывает хроматическую дисперсию, но создаёт проблемы для систем DWDM, использующих смешивание света с четырьмя длинами волн. Наклон хроматической дисперсии в этой длине волны считается как нулевым дисперсионным наклоном (S_0).

Оба коэффициента дисперсии (стандартизированы к одному километру) и наклон зависят от длины волокна. Хроматическая дисперсия прежде всего зависит от технологии производства. Производители оптического кабеля учитывают хроматическую дисперсию, разрабатывая различные типы волокна для разных целей и потребностей, таких как стандарт волокна со смещённой дисперсией или ненулевая смещённая дисперсией.

Поляризационная модовая дисперсия

Поляризационная модовая дисперсия (PMD) является основным свойством одномодовых волокон влияющая на скорость передачи данных.

PMD происходит из-за разных скоростей распространения энергий одной длины волны, но разной поляризации с перпендикулярными осями (показано в схеме ниже).

Основными причины PMD является некруглость сердцевинки и внешние воздействия на волокно (макро-изгиб, микро изгиб, скручивая, и температурные изменения).

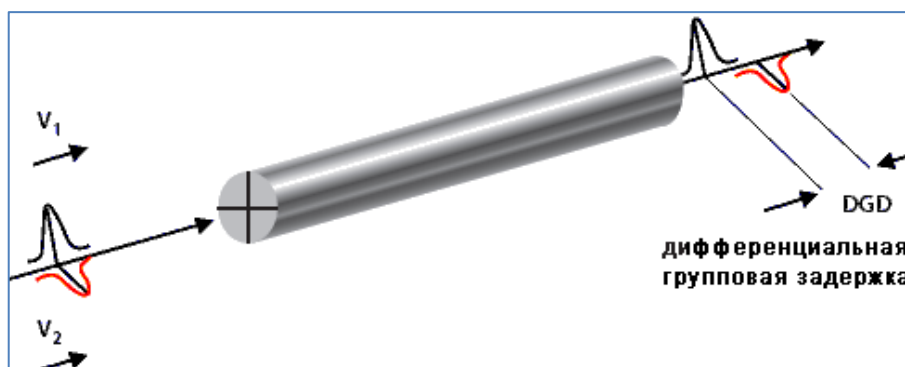


Рисунок 19. PMD (дифференциальная групповая задержка) эффекты в волокне

Применительно к PMD используется такое понятие как среднее значение дифференциальной групповой задержки (differential group delays — DGD) и выражаются в пикосекундах (пс). Он может также быть использован как коэффициент PMD, который связывается с квадратным корнем от расстояния и выражается в пс/√км.

PMD (обозначают DGD) расширяет импульс передачи при передачи по волокну. Это явление вносит искажения, увеличивая коэффициент битовых ошибок (BER) оптической системы.

Влияние PMD ограничивает скорость передачи связи. Важно учитывать значение PMD волокна чтобы вычислить пределы скорости передачи оптического канала.

Стр. 58

Определение оптического солитона

Оптический солитон – это импульс, представляющий собой одиночную волну колоколообразной формы, образующийся в оптическом волокне при наличии определенной нелинейной зависимости коэффициента преломления от интенсивности излучения когерентного источника. При этом коэффициент преломления должен возрастать с ростом интенсивности. Тогда высокочастотные составляющие импульса как бы сдвигаются к его хвосту, а низкочастотные составляющие – к его голове, чем подавляется действие хроматической и поляризационной дисперсии. Такой импульс может сохранять форму и ширину по всей длине волоконной линии (рисунок 20).

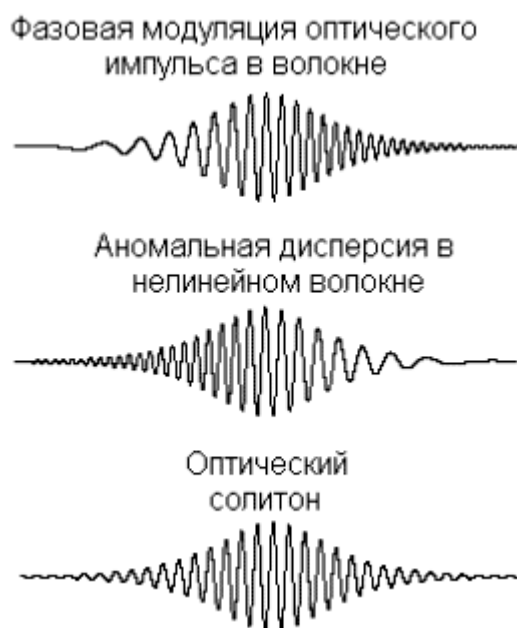


Рисунок 20. Формирование оптического солитона

Солитоны могут распространяться в стекловолокне на значительные расстояния (тысячи километров) практически без искажения формы импульса и сохраняться при столкновении друг с другом. Для поддержки энергии солитон должен получить внешнюю подпитку от источника накачки. Только в этом случае солитон сохраняется.

Стр. 58

ОСП - оборудование световодных подключений

Мультиплексирование (см. выше)

Волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) это совокупность оптических устройств и оптических линий передачи, обеспечивающая формирование, обработку и передачу оптических сигналов. Физической средой распространения оптических сигналов являются волоконно-оптические или, просто, оптические кабели и создаваемые на их основе волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Совокупность ВОСП и ВОЛС образует волоконно-оптическую линию передачи (ВОЛП).

Стр. 61

Халькогенидное стекло — некристаллическое вещество, содержащее атомы халькогенов (серы, селена, теллура) без кислорода, в основном нечувствительно к примесям, обладает симметричными вольт-амперными характеристиками.

Алюминаты — соли, образующиеся при действии щёлочи на свежееосаждённый гидроксид алюминия: (тетрагидроксоалюминат натрия, гексагидроксоалюминат натрия). **Алюминаты** получают также при растворении металлического алюминия (или Al_2O_3) в щелочах.

Стр. 65

Эффект Саньяка — появление фазового сдвига встречных электромагнитных волн во вращающемся кольцевом интерферометре.

Эффект проявляется и при кольцевом распространении волн неэлектромагнитной природы. Эффект был описан Жоржем Саньяком в 1913 г.

Величина эффекта прямо пропорциональна угловой скорости вращения интерферометра, частоте излучения и площади, охватываемой путём распространения световых волн в интерферометре.

Эффект Саньяка — это очень интересное явление, которое показывает, вращается ли самолёт или летит прямо. Непревзойдённая точность позволяет использовать этот эффект для навигации в самых разнообразных транспортных средствах.

Результаты исследования

В 1912 году **Гаррес** и затем **Саньяк** провели эксперименты по определению скорости света на вращающейся платформе. В опытной установке **Саньяка** (рисунок 21) на платформе находились как источник, так и приёмник света (фотопластина).

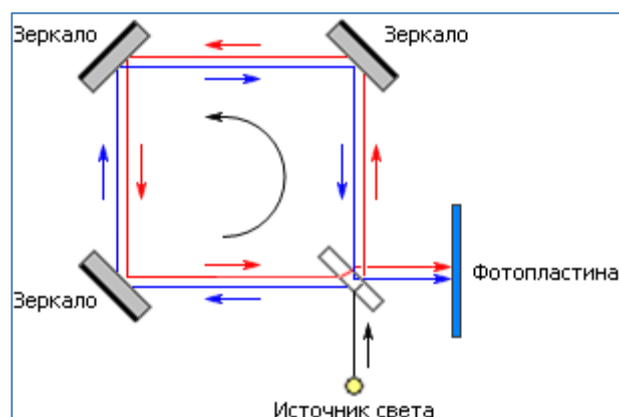


Рисунок 21. Эксперимент по определению скорости света на вращающейся платформе. Схема опытной установки Саньяка

Свет от источника разделялся стеклом на два луча, которые обходили контур в противоположных направлениях и направлялись на фотопластинку. **Эффект Саньяка** проявлялся в смещении фаз встречных излучений в зависимости от скорости вращения платформы.

В установке **Гарреса**, в отличие от схемы **Саньяка**, источник света был подвешен над центром вращающейся платформы, а на краю платформы был установлен отражатель луча света. Далее этот отражённый луч разделялся на два луча, которые обходили контур в противоположных направлениях.

В обоих этих экспериментах было показано, что скорость света остаётся постоянной только относительно поверхности массивного гравитирующего тела Земли, вне зависимости от состояния покоя или вращения самой платформы. В литературе этот эффект получил наименование эффекта **Саньяка**.

Эффект Саньяка используется в лазерных и волоконно-оптических гироскопах. Эти гироскопы уже начинают применяться на практике для определения угловой скорости вращения в пространстве летательных аппаратов и других движущихся объектов, но широкое их внедрение в эксплуатацию сдерживается недостаточной чувствительностью этих приборов при малых угловых скоростях.

Стр. 66

Эффект Рамана (комбинационное рассеяние света) – неупругое рассеяние оптического излучения на молекулах вещества (твёрдого, жидкого или газообразного), сопровождающееся заметным изменением его частоты. В отличие от рэлеевского рассеяния, в случае *комбинационного рассеяния света* в спектре рассеянного излучения появляются спектральные линии, которых нет в спектре первичного (возбуждающего) света. Число и расположение появившихся линий определяется молекулярным строением вещества.

Рамановское рассеяние или **Рамановский эффект** /'ra:mən/ - это неупругое рассеяние фотонов веществом, означающее, что происходит обмен

энергией и изменение направления света. Обычно это связано с тем, что молекула получает энергию колебаний, когда падающие фотоны от видимого лазера смещаются в сторону более низкой энергии. Это называется нормальным стоксовым рамановским рассеянием. Этот эффект используется химиками и физиками для получения информации о материалах для различных целей путем выполнения различных форм рамановской спектроскопии. Многие другие варианты рамановской спектроскопии позволяют исследовать энергию вращения (если используются пробы газа), и уровни электронной энергии могут быть исследованы, если используется источник рентгеновского излучения в дополнение к другим возможностям. Известны более сложные методы с использованием импульсных лазеров, множественных лазерных лучей и так далее.

Свет с определенной вероятностью может быть рассеян материалом. Когда фотоны рассеиваются, большинство из них упруго рассеиваются (рэлеевское рассеяние), так что рассеянные фотоны имеют одинаковую энергию (частота, длина волны и цвет) как падающие фотоны, но в другом направлении. Рэлеевское рассеяние обычно имеет интенсивность в диапазоне от 0,1% до 0,01% относительно интенсивности источника излучения. Еще меньшая часть рассеянных фотонов (примерно 1 из 10 миллионов) может быть рассеяна неупруго, при этом рассеянные фотоны имеют энергию, отличную (обычно более низкую) от энергии падающих фотонов - это фотоны рамановского рассеяния. Из-за сохранения энергии материал либо приобретает, либо теряет энергию в процессе.

Рэлеевское рассеяние было открыто и объяснено в 19 веке. **Рамановский эффект** назван в честь индийского ученого **К.В. Раман**, открывшего его в 1928 году при содействии своего ученика **К.С. Кришнан**. **Раман** был удостоен Нобелевской премии по физике в 1930 году за свое открытие.

Стр. 68

Четырехволновое смешение (ЧВС) – нелинейный эффект, возникающий благодаря оптической нелинейности третьего порядка (χ^3). ЧВС возникает, если как минимум два различных по частоте $\nu_2 > \nu_1$ пучка распространяются вместе в нелинейной среде, к примеру, по оптическому волокну. При этом возникает модуляция показателя преломления на разностных частотах, что приводит к появлению двух дополнительных частотных компонент.

Четырехволновое смешение FWM (Four-Wave Mixing) является одним из самых вредных нелинейных оптических явлений в системах WDM. При достижении критического уровня мощности излучения лазера нелинейность

волокна приводит к взаимодействию трех волн с частотами ω_i , ω_j , ω_k и появлению новой четвертой волны на частоте $\omega_i \pm \omega_j \pm \omega_k$. Некоторые частоты таких ложных сигналов могут попасть в рабочие полосы пропускания каналов.

Стр. 72

Полудуплекс — режим, при котором, в отличие от дуплексного, передача ведётся по одному каналу связи в обоих направлениях, но (в каждый момент времени передача ведётся только в одном направлении).

Полудуплекс (Half Duplex) – режим передачи данных, при котором передача между устройствами ведется по общему каналу связи в любом направлении, но с разделением по времени. При таком режиме передачи данных каждое из устройств, подключенное к общему каналу связи должно быть способно попеременно принимать и передавать сигналы.

Российские и советские ученые, упоминающиеся в лекции 7

Кулибин Иван Петрович

Чиколев Владимир Николаевич

Басов Николай Геннадьевич

Прохоров Александр Михайлович

Косминский Олег Фёдорович

Кузьмичев Василий Николаевич

Шиллинг Павел Львович

Попов Александр Степанович

Варгин Владимир Владимирович

Вейнберг Татьяна Ильинична

Мурадян Ашот Гарегинович

Алферов Жорес Иванович

Дианов Евгений Михайлович

Девятых Григорий Григорьевич

Лекция 8, тема 7

Стр. 77

Электрохимический интегратор работает по принципу электролиза, суммируя все импульсы тока, возбуждаемые по любому закону, в виде изменившихся концентраций электролита в анодном и катодном пространствах. Изменение концентраций измеряется колориметрическим или потенциометрическим путем.

Магнитным усилителем называют электромагнитный аппарат, служащий для плавного регулирования переменного тока, поступающего к нагрузке, путем изменения индуктивного сопротивления X_L катушки с ферромагнитным сердечником, включенной последовательно с нагрузкой. **Принцип действия**

магнитного усилителя основан на изменении индуктивности катушки с ферромагнитным сердечником при подмагничивании ее постоянным током.

Стр. 79

Магнитоиндукционный демпфер – устройство индукционного типа, работающее на принципе торможения вихревыми токами.

Устройство работает следующим образом. При вращении электропроводящего элемента (ротора) в магнитном поле магнитных полюсов в роторе индуцируются вихревые токи, магнитное поле которых, взаимодействуя с магнитным полем полюсов, создает тормозящий момент.

ЛЕКЦИЯ 8, тема 8

Стр. 90

Виброустойчивость - сохранение объектом своих свойств во время приложения нагрузки (вибрации).

Вибропрочность - сохранение объектом своих свойств после снятия нагрузки.

Испытания на **вибропрочность** проводят для определения **предельно допустимых величин** вибронагрузок, то есть это предельный режим до разрушения вплоть.

Испытания на **виброустойчивость** проводят в **рабочем** режиме изделия для выяснения работоспособности изделия под действием вибрации.

Под **прочностью** конструкции понимается способность изделия выполнять функции и сохранять параметры после приложения механических воздействий.

Устойчивость – способность изделия сохранять функции и параметры в процессе механического воздействия.

Модальный анализ — это исследование динамических свойств линейных структур на базе структурного тестирования или численного моделирования методом конечных элементов.

В число динамических свойств входят резонансные частоты (собственные частоты) и структурная форма (собственный тип колебаний). Динамические свойства зависят от распределения массы, жесткости и демпфирования на структуре и определяют поведение структурных колебаний при воздействии эксплуатационных нагрузок. Каждая деформация линейной структурной системы может быть выражена как линейная комбинация структурных форм, которые образуют ортонормированную векторную базу.

Физические основы модального анализа вибрации

В любом упруго деформируемом теле однократным импульсным (ударным) воздействием или периодическим действием вынуждающей силы можно возбудить колебания, характер которых может много сказать о внутренней структуре тела. В случае однократного импульсного воздействия, называемом еще тест-ударом, в теле будут наблюдаться собственные свободные затухающие колебания (моды), а в случае периодической вынуждающей силы – вынужденные колебания с частотой вынуждающей силы. И в первом, и во втором случае удастся определить собственные колебания (моды), знание которых играет большую роль при конструировании и эксплуатации машин, зданий, конструкций и т.д. В этом и заключается задача модального анализа – определение формы, частоты, характера затухания мод вибрации.

Модальный анализ проводится для определения частот и форм (мод) собственных колебаний конструкций. Также модальный анализ может быть первым шагом для других видов динамического анализа, таких, как гармонический и спектральный анализ. Модальный анализ предполагает, что система является линейной.

Гармонический анализ предназначен для решения уравнений движения в случае установившихся колебательных процессов (вынужденных колебаний).

Гармонический анализ – это разложение сложного колебания на простые слагаемые. Результатом **гармонического анализа** является спектр колебаний.

Спектр колебаний – это диаграмма, показывающая, как распределяется общая энергия колебаний по различным значениям частоты.

Спектральный анализ – это метод обработки сигнала, позволяющий выявить частотный состав сигнала, и он является наиболее распространенным видом анализа сигнала. Выявление повышенных амплитуд **вибраций** на частотах, совпадающих с частотами возможных повреждений в элементах, резонансных частотах деталей на частотах протекания рабочего процесса помогает обнаружить и идентифицировать возникающие дефекты на ранней стадии зарождения и их развития.

Пьезоэлектрический эффект (от греч. *Πιέζω* (*piézō*) — давлю, сжимаю) — эффект возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений (*прямой пьезоэлектрический эффект*). Существует и *обратный пьезоэлектрический эффект* — возникновение механических деформаций под действием электрического поля.

При прямом пьезоэффекте деформация пьезоэлектрического образца приводит к возникновению электрического напряжения между поверхностями деформируемого твердого тела, при обратном пьезоэффекте приложение напряжения к телу вызывает его деформацию.

Стр.97

При использовании метода широкополосной случайной вибрации (ШСВ) производится одновременное возбуждение всех резонансов конструкции, что позволяет выявить их взаимное влияние. При этом предусматривается постоянная плотность энергии каждой гармонической составляющей колебательного процесса, для чего на изделие воздействует белый шум и испытание проводят при определенных значениях среднего квадратического ускорения.

Авиационное **стрелково-пушечное вооружение** (СПВ), вид авиационного **вооружения** для поражения воздушных, наземных и морских целей артиллерийским снарядом (пулей, гранатой). Включает пушки, пулемёты и гранатомёты в составе соответствующих установок, прицельно-навигационную систему.

Стр. 100

Энтальпия — функция состояния термодинамической системы ***H***, определяемая как сумма внутренней энергии ***U*** и произведения давления ***P*** на объём ***V***

$$H \equiv U + PV$$

Стр. 103

Пьезоэлектрические акселерометры

Принцип работы датчиков основан на прямом пьезоэлектрическом эффекте: когда пьезоэлектрический кварцевый кристалл или поляризованный пьезокерамический образец (далее — пьезоэлемент) подвергается действию внешней силы ***F***, вследствие смещения кристаллической решетки на противоположных поверхностях материала аккумулируется электрический заряд, прямо пропорциональный величине приложенного воздействия.

Пьезорезистивные акселерометры

Пьезорезистивный акселерометр для детектирования ускорения использует изгибаемые диффузионные кремниевые резисторы (или измерители механического напряжения, присоединенные к одной или более микромеханическим кремниевым консольным балкам, поддерживающим инерционную массу. Ускорение инерционной массы вызывает изгиб балок и изменяет сопротивление резисторов, создавая разбалансировку **моста Уитстона**, в схему которого, как правило, включаются измерители напряжения, что, в частности, обеспечивает их реагирование на статическое ускорение.

Принцип работы моста Уитстона

Принцип действия **моста Уитсона** основан на измерении сопротивления чувствительного резистивного элемента-датчика, сопротивление которого изменяется при изменении воздействующей на него неэлектрической величины.

Резистивный датчик (датчики) включается электрически в одно или несколько плеч **моста Уитстона** и измерение неэлектрической величины сводится к измерению изменения сопротивления датчиков.

Мостовая схема Ч. Уинстона состоит из 2-х плеч. В каждом 2 резистора. Соединяет 2 параллельные ветви еще одна. Ее название – мостик. Ток проходит от клеммы с минусом к верхнему пику мостовой схемы (рисунок 22).

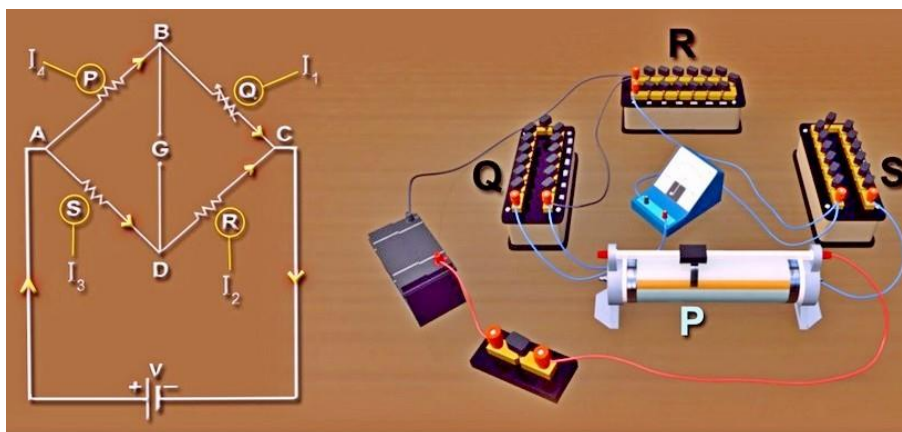


Рисунок 22

Разделившись по 2 параллельным ветвям, ток идёт к положительной клемме. Величина сопротивления в каждой ветви непосредственно влияет на количество тока. Равное сопротивление на обеих ветвях говорит о том, что в них течет аналогичное количество тока. В таких условиях мостовой элемент уравновешен.

Если в ветвях неравное сопротивление, ток в электросхеме начинает движение от ветви с высоким уровнем сопротивления к ветви с наименьшим. Так продолжается, пока 2 верхних элемента цепей остаются равны по своей величине. Аналогичное положение резисторы имеют в схемах, которые используют в системах контроля и измерения.

Стационарные случайные процессы

На практике встречаются процессы, которые имеют вид непрерывных случайных колебаний относительно некоторого среднего значения. При этом средняя амплитуда и характер этих колебаний с течением времени существенно не изменяется; их реализации имеют примерно одинаковый характер. Такие процессы относят к стационарным случайным процессам.

Нестационарные случайные процессы

К нестационарным процессам относятся все случайные процессы, не удовлетворяющие условиям стационарности. Если не наложены дополнительные ограничения, то свойства случайных нестационарных процессов обычно зависят от времени и могут быть установлены только путем усреднения в отдельные моменты времени по ансамблю выборочных функций, образующих процесс. На практике часто не удается получить достаточное для точной оценки свойств процесса число реализаций. Этим фактом объясняется отставание в развитии

практических методов измерения и анализа случайных нестационарных процессов.

Стр. 104

Радиолокация — область науки и техники, объединяющая методы и средства локации (обнаружения и измерения координат) и определения свойств различных объектов с помощью радиоволн. Близким и отчасти перекрывающимся термином является радионавигация, однако в радионавигации более активную роль играет объект, координаты которого измеряются, чаще всего это определение собственных координат. Основное техническое приспособление радиолокации — радиолокационная станция (РЛС).

Выделяют два вида радиолокации пассивную и активную:

- Пассивная радиолокация основана на приёме собственного излучения объекта;
- При активной радиолокации радар излучает свой собственный зондирующий сигнал и принимает его отражённым от цели. В зависимости от параметров принятого сигнала определяются характеристики цели.

Активная радиолокация бывает двух видов:

- С активным ответом — на объекте предполагается наличие радиопередатчика (ответчика), который излучает радиоволны в ответ на принятый сигнал. Активный ответ применяется для опознавания объектов (свой-чужой), дистанционного управления, а также для получения от них дополнительной информации (например, количество топлива, тип объекта и т. д.);
- С пассивным ответом — запросный сигнал отражается от объекта и воспринимается в пункте приёма как ответный.

Антенна РЛС предназначена для преобразования колебаний токов сверхвысокой частоты в энергию электромагнитных волн, фокусировки её в узкий пучок и излучения в пространство.

Антенна РЛС осуществляет также прием электромагнитных волн, отраженных от целей, преобразования их в колебания токов СВЧ и передачу к приемнику.

Антенная система современных РЛС представляет собой сложное радиотехническое устройство и состоит из основной антенны, антенн системы защиты от помех и антенны системы опознавания.

Основная антенна формирует требуемую диаграмму направленности для обзора пространства. Антенны системы защиты от помех формируют диаграмму направленности, обеспечивающую работу этой системы. Антенна системы опознавания формирует диаграмму направленности, обеспечивающую работу системы опознавания.

В зависимости от назначения различают передающие, приемные и приемо-передающие антенны. В РЛС используются все три типа антенн.

Фотограмметрия - наука, изучающая способы определения форм, размеров, пространственного положения и степени изменения во времени различных объектов, по результатам измерений их фотографических изображений. Дословный перевод - измерение светозаписи.

Наука, позволяющая с помощью фотографирования, способов обработки снимков и специальных технологий получать изображения и определять по ним пространственное положение физических объектов на местности и их характеристики имеет название фотограмметрия.

Пирометром называется устройство для определения температуры любого предмета, основывающееся на инфракрасном датчике. В основе действия прибора заложен принцип определения температурного значения поверхности объекта по тепловому электромагнитному излучению его поверхности. Пирометр улавливает невидимое инфракрасное излучение, преобразует его в градусы, и полученный результат выводит на дисплее.

Стр. 105

Стереоскопическая фотосъемка. Стереоскопической фотосъемкой называют **фотографирование** объекта или участка местности с двух точек съемки, соответствующих точкам зрения левого и правого глаза.

Стр. 106, 107

Штатный фотопост включает в себя 2 аэрофотоаппарата и до 4 импульсных источников света, способных давать световые вспышки в момент фоторегистрации длительностью 4 мкс. Управление работой оптико-фотографической аппаратуры осуществляется с помощью автоматизированной системы управления на базе ЭВМ в реальном масштабе времени с учетом измеренной базозадающим устройством реальной скорости движения. В зависимости от задач испытаний, фоторегистрация может проводиться для двух случаев: в отраженном свете и силуэтно-теневая регистрация. Для съемки в отраженном свете фоторегистрация осуществляется на черном фоне, в случае силуэтно-теневого регистрации – на белом.

Стр. 107

Синхробаллистическая фотокамера обеспечивает **фотосъемку** на движущуюся пленку, что в случае хорошей синхронизации позволяет получать снимки без искажений от смаза изображения. При этом, регулируя ширину щели затвора **синхробаллистической** фотокамеры можно добиться величины экспозиции примерно 10 мкс.

Синхробаллистическая фотокамера СБФ-02 предназначена для регистрации фотографическим методом объектов, перемещающихся со скоростями 200-2500 м/с. С помощью фотокамеры можно получать

крупномасштабные и высококачественные изображения исследуемых объектов. Наличие у камеры линейной развертки изображения позволяет осуществлять регистрацию протяжённых объектов длиной до десяти метров. Получаемая фотографическая информация предназначена в основном для визуального анализа состояния объекта в процессе его перемещения. Возможно также проведение количественного анализа, т.е. определение скорости перемещения объекта, взаимного расположения его частей, степени их деформации и т.п. В связи с тем, что при съёмках камера имеет очень малое время экспонирования ($1 \div 100 \text{ мкс}$), она должна работать совместно с искусственным источником освещения большой интенсивности ($\sim 10^6 \text{ кд}$), т.к. при естественном освещении не обеспечивается требуемая экспозиция.