

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
( Н И У « Б е л Г У » )

**ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**Кафедра информационно-телекоммуникационных  
систем и технологий**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА  
ПО ТЕХНОЛОГИИ SDR**

**Выпускная квалификационная работа**  
обучающегося по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи  
заочной формы обучения, группы 07001364  
Грошева Андрея Юрьевича

Научный руководитель  
кандидат технических наук  
доцент кафедры  
Информационно-  
телекоммуникационных  
систем и технологий  
НИУ «БелГУ» Буханцов А.Д.

Рецензент  
заместитель начальника Центра-  
главный инженер  
ЦССИ ФСО России  
В Белгородской области

**БЕЛГОРОД 2017**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СКАНИРУЮЩИХ ПРИЁМНИКОВ..	8
1.1 Особенности распространения радиоволн.....	8
1.2 Влияние помех на качество связи.....	18
1.3 Общие понятия радиомониторинга.....	24
1.4 Технические средства радиомониторинга.....	26
2 АНАЛИЗ И ПУТИ РАЗРАБОТКИ SDR ПРИЁМНИКА.....	35
2.1 Понятие о SDR-технологии.....	35
2.2 Обобщенная схема SDR-приёмника.....	41
2.3 Использование технологии SDR для мониторинга радиосети.....	45
3 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ SDR ПРИЁМНИКА.....	46
3.1 Структурная схема аппаратной части сканирующего SDR приёмника	46
3.2 Расчёт основных параметров линейного тракта приёмника.....	48
3.3 Подбор элементов линейного тракта.....	49
3.3.1 Разработка системы фильтров.....	50
3.3.2 Выбор смесителей.....	57
3.3.3 Выбор гетеродина.....	59
3.3.4 Выбор переключателей и аттенюатора.....	60
3.4 Расчет коэффициентов усиления и коэффициента шума.....	61
4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЯТЫХ РЕШЕНИЙ.....	64
4.1 Планирование работ по исследованию.....	64
4.2 Расчет расходов на оплату труда на исследования.....	66
4.3 Расчет продолжительности исследования.....	67

					<b>1 1070006.11.03.02.497.ПЗВКР</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		<i>Грошев А.Ю.</i>			Проектирование приёмного устройства по технологии SDR	Лит.	Лист	Листов
Провер.		<i>Буханцов А.Д.</i>					2	78
Рецензент		<i>Чапча В.В.</i>				<i>НИУ «БелГУ», гр._07001364</i>		
Н. контр.		<i>Буханцов А.Д.</i>						
Утв.		<i>Жилияков Е.Г.</i>						

4.4	Расчет стоимости расходных материалов.....	67
4.5	Расчет сметы расходов на исследование.....	68
5	БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	72
5.1	Обзор вредных факторов.....	72
5.2	Требования к электромагнитному излучению.....	75
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	77
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	78

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		3

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АРУ – автоматическая регулировка усиления;

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

ВЧ – верхняя частота;

МЧП – максимальная частота пропускания;

НЧ – нижняя частота;

ОГО – органы государственной охраны;

ПЧ – промежуточная частота;

ПО – программное обеспечение;

РЛС – радиорелейная связь;

РПУ – речепреобразующее устройство;

СПО – специальное программное обеспечение;

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;

ФАПЧ – фазовая автоподстройка частоты;

ФЧХ – фазо-частотная характеристика;

ЭДС – электродвижущая сила;

АМ – амплитудно-модульная модуляция;

BSKM – фазовая манипуляция;

FM – частотная модуляция;

FSKM – частотно-манипулируемая модуляция;

PM – фазовая модуляция;

OFDM – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов;

SDR – программно определяемое радио;

QAM – квадратурная модуляция;

QPSK – квадратурно-фазовая манипуляция;

ПОР – программно определяющее радио.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		4

## **ВВЕДЕНИЕ**

Радиоприёмное устройство – это главный и важный элемент любой системы передачи информации, использующей радиоволны. За счет него происходит управление энергией электромагнитного поля, переносящей полезные информацию, усиление мощности полезного радиосигнала, детектирования, усиление мощности принятого сигнала и преобразование его в сообщение, поступающее получателю информации.

В точке приёма присутствуют посторонние электромагнитные поля. Естественного и искусственного происхождения создаваемые источниками радиопомех. Полезный сигнал искажается за счет помех и в следствии этого происходят ошибки в приёме сообщения. Беря во внимание, что реальные условия приёма сигналов изменяются во времени, режимы его работы и структура приёмника должны быть оптимизированы, с целью получения минимальной величины ошибки в точке приёме сообщений.

В последнее время в области радиосвязи появился новый термин – "радиомониторинг", который раскрывает деятельность по контролю и изучению радиообстановки. В качестве основных устройств радиомониторинга на данный момент используются многоканальные сканирующие приемники, позволяющие производить автоматический поиск находящихся в эфире радиосигналов, так и осуществлять постоянный контроль заранее заданных частот.

Обеспечение безопасности при ведении переговоров в радиосистеме встает на первое место, когда передаваемая информация имеет конфиденциальный характер или является информацией ограниченного доступа, что особенно актуально для государственных ведомств и крупных коммерческих предприятий. Однако, именно тот факт, что информация представляет некий интерес, может побудить потенциального нарушителя к противоправным действиям

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		5

В органах государственной безопасности и специальной связи проблемы радиомониторинга являются актуальным на данный момент. Необходимо выделить ряд причин, приводящих к усложнению РЭО на защищаемых (контролируемых) объектах:

- большое количество радиостанций расположено в очень сжатом и ограниченном пространстве, что сильно усложняет распознавание побочных радиосредств;
- значительное рост скорости передачи информации и использование избыточности для увеличения скрытности и помехоустойчивости радиосредств, к которым относятся в первую очередь устройства, применяемые в измерительных и информационных радиосистемах как государственных, так и коммерческих структур, широкополосные системы с динамической частотно-временной структурой и т.п.;
- неравномерное по времени использование РЭС, которое приводит к дополнительному усложнению РЭО в моменты наибольшей интенсивности работы радиосистем.

С развитием новых технологий, используемый радиоэфир «загрязняется» ненужными помехами, которые очень сильно влияют на качество передаваемой информации. Зачастую при организации связи между абонентами слышимость передаваемых сообщений остаётся на низком уровне. Для повышения качества связи необходим качественный радиомониторинг, но его использование осложняется из-за ряда некоторых причин:

1. Большая часть станций связи относится к парку старого типа, а данные аппаратные не укомплектованы данным оборудованием;
2. Отечественные и зарубежные анализаторы спектра имеют высокую стоимость и не рассчитаны для работы в полевых условиях;
3. Для оснащения станций старого парка современным оборудованием займёт много времени.

Исходя из этого, в дипломном проекте предлагается проектирование приёмного устройства по технологии SDR для оперативного мониторинга

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		6

радиосети. Данный анализатор спектра имеет ряд преимуществ относительно другой аппаратуры измерения и анализа.

Цель работы является оценка возможности реализации приёмного устройства на основе SDR- технологий.

Для достижения цели выпускной квалификационной работы были определены задачи, которые необходимо решить в процессе исследования:

- Проведение анализа существующих сканирующих приёмников.
- Проведение анализа и исследование путей разработки приёмника по технологии SDR.
- Разработка структурной схемы SDR приёмника.

Дипломная работа состоит из 5 глав. В первой главе рассмотрены существующие виды помех различного происхождения в радиодиапазоне и проведен анализ существующих способов и устройств, применяемых для оценки радиочастотного спектра. Во второй главе – суть SDR-технологии, устройство устройств, использующих эту технологию. В третьей главе изложена аппаратная часть приемника по технологии SDR, для контроля радиочастотного спектра. В четвертой главе представлено технико-экономическое обоснование проекта. В пятой главе информация о безопасности жизнедеятельности.

Общий объём дипломной работы составляет 78 листов.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		7

# 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СКАНИРУЮЩИХ ПРИЁМНИКОВ

## 1.1 Особенности распространения радиоволн

В передаче информации с помощью радиоэлектронных и радиотехнических приборов выделяют три компонента: передающее устройство, среда, в которой распространяются радиоволны, и приемное устройство.

Надежный прием и устойчивая работа радиоэлектронной системы прямо зависит от тракта распространения. И определяется различными условиями распространения радиоволн на интервале, между передающей и приемной антенной.

Аналогично световым волнам, радиоволны могут практически без потерь распространяться на немалые расстояния в земной атмосфере, и это делает их полезнейшими носителями закодированной информации. Во время распространения радиоволны подвергаются искажению и ослаблению. Помехи как естественного, так и искусственного происхождения разного рода, дополнительно воздействуют на приемную антенну. Для обеспечения надежной передачи информации необходимо, чтобы поле сигнала, во-первых, в определенное число раз превышало уровень помех (в зависимости от условий работы канала связи и требований к надежности). Во-вторых, свести к минимуму чрезмерное искажение сигнала, непременно возникающее в процессе распространения. Ослабления сигнала должны быть в допустимых пределах. При сильном искажении формы сигнала т.е его растягивании, дроблении или при значительном снижении уровня сигнала, который при этом уже не будет выделяться на фоне помех передача информации может нарушиться и не быть эффективной.

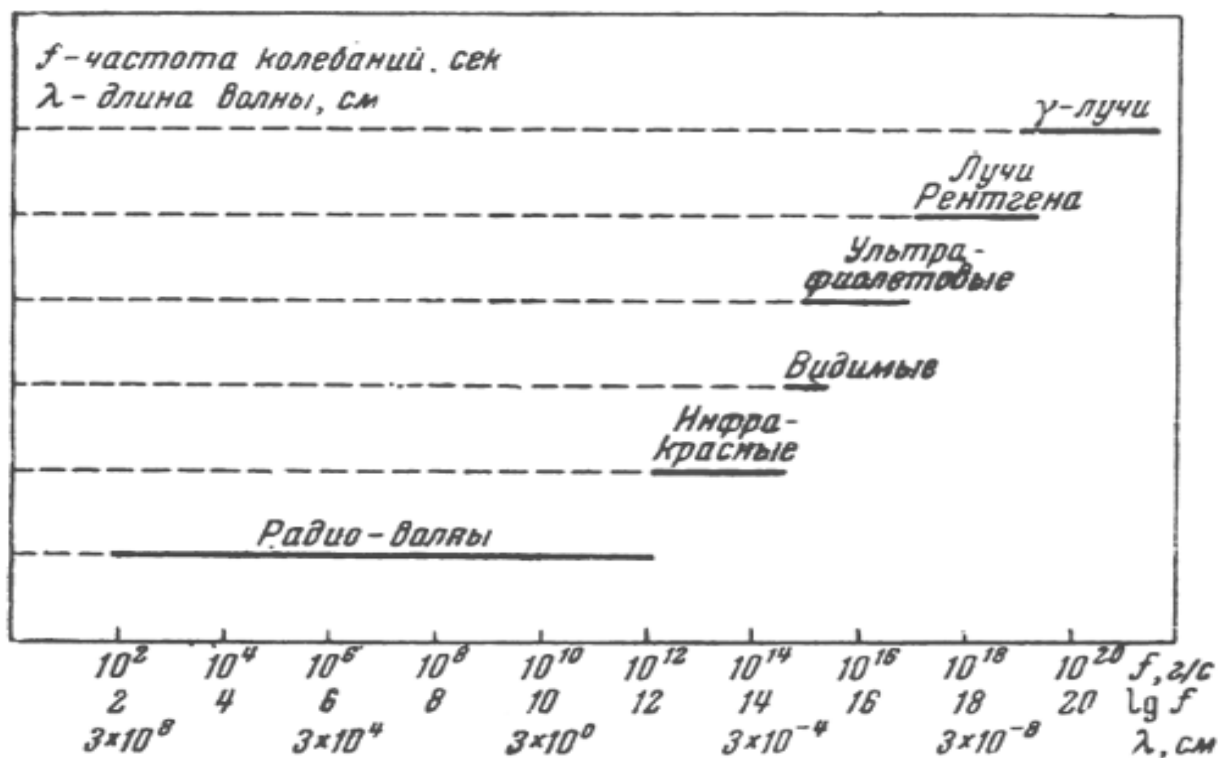
В современной технике обширное и многообразное применение находят свободно распространяющиеся радиоволны. Применение их разнообразно:

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		8



в радиолокационных устройствах, телеметрии в системах связи, системах управления, в радионавигации и во многих других случаях. Установление связи между фиксированными (наземными) пунктами, то есть без необходимости сооружать между ними, соединительную или направляющую систему, является их основным преимуществом. Связь с нестационарными объектами такими как, автомобили, корабли, самолеты, космические корабли осуществляется за счет радиоволн.

Радиоволны это электромагнитные волны с длиной от 100000 м до примерно 0,1 мм, что, применяет известное соотношение между длиной волны и частотой соответствует интервалу частот: от  $3 \times 10^3$  Гц до  $3 \times 10^{12}$  Гц. Диапазон радиоволн представлен на рисунке 1.1



**Рисунок 1.1 – Диапазоны электромагнитных волн**

Применяемые в радиосвязи волны принято делить по десятичному признаку на диапазоны:

1. сверхдлинных волн (СДВ) от  $10^5$  до  $10^4$  м;
2. длинных волн (ДВ) от  $10^4$  до  $10^3$  м,

3. средних волн (СВ) от  $10^3$  до 100м;
4. коротких волн (КВ) от 100 до 10м;
5. метровых волн (МВ) от 10 до 1м;
6. дециметровых волн (ДМВ) от 1 до 0,1м;
7. сантиметровых волн (СМВ) от 10 до 1см;
8. миллиметровых волн (ММВ) от 1см до 1мм и субмиллиметровых волн (СММВ) от 1 до 0,1мм;
9. оптические волны 0,1мм.

Распространение радиоволн в земном пространстве зависит от свойств атмосферы и свойств поверхности земли. Рельеф местности, электрические параметры земной поверхности и длины волны значительно оказывают влияние на условие распространения радиоволн вдоль поверхности земли. Аналогично другим волнам радиоволны обладают свойством дифракцией. Огибание препятствий, сказывается, когда геометрические размеры препятствий сопоставимы с длиной волны. Земными, или поверхностными радиоволнами называются радиоволны, распространяющиеся вдоль поверхности земли и за счет дифракции огибающие выпуклость земного шара.

Атмосфера земли является неоднородной средой. В разных объемах воздушного слоя имеют различные значения такие параметры, как давление, плотность, влажность, диэлектрическая проницаемость и другие. В следствие этого скорость распространения в различных объемах неодинакова и зависят от длины волны. Отмечается искривление траектории радиоволн в атмосфере.

Явление преломления или искривления волн при прохождении их в неоднородной среде получило название рефракции. В свою очередь пространственными или ионосферными являются радиоволны, распространяющиеся в атмосфере на большой высоте и возвращающиеся на землю из-за искривления траектории, отражения или рассеяния от атмосферных неоднородностей.

От одного и того же источника в точку приема могут приходить как пространственная, так и земная волны. Если фазы колебаний этих волн

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		10

совпадают, то амплитуда суммарного поля возрастает, и наоборот – при сдвиге фазы волн на  $180^\circ$  суммарное поле ослабляется и может стать равным нулю. Указанное явление взаимодействия волн называется интерференцией.

На распространение поверхностных радиоволн влияет два фактора: дифракция и влияние земной поверхности. Известно, что воздух не вызывает ослабления при распространении радиоволн практически во всех диапазонах частот и поэтому земная волна должна без поглощения распространяться. Применимо это в случае, если земная волна проходит высоко над поверхностью земли. Если же радиоволны проходят вблизи от поверхности земли, то на их распространении сказываются свойства земной поверхности.

При условии, что земная поверхность была бы полностью проводящей, радиоволны отражались без потерь, т.е. земля в этом случае была бы экраном, препятствующим прохождению волн вглубь почвы. Ни идеальным проводником, ни идеальным изолятором в реальных условиях земля не является. Радиоволны, попавшие в землю, возбуждают в ней переменные электрические токи, которые часть своей энергии расходуют на нагрев почвы. Величина потерь энергии в земле очень сильно зависит от частоты радиоволн и сопротивления почвы электрическому току. В почве с увеличением частоты радиоволн величина индуцируемой ЭДС возрастает, и соответственно увеличиваются токи в земле, которые создают электромагнитное поле обратного направления. Поэтому дальность распространения поверхностных радиоволн очень быстро уменьшается с увеличением частоты.

Знаменитый ученый и изобретатель А.С. Попов заметил, что над поверхностью моря дальность радиосвязи увеличивается по сравнению с дальностью связи над сушей. Если проводимость грунта меньше, то радиоволны глубже проникают в среду и увеличивается их поглощение.

Необходимо учитывать, что в воздухе скорость распространения радиоволн больше, чем в земле. При движении их вдоль ее поверхности, нижний край волны отстает от верха. Фронт волны наклоняется, и помимо движения вдоль поверхности земли происходит распространение радиоволны сверху вниз.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		11

Вышеупомянутые факторы снижают возможности использования поверхностной волны диапазонами сравнительно длинных волн (мираметровые, километровые, гектометровые и частично декаметровые).

Пространственные волны распространяются в атмосфере и не касаются земной поверхности.

Атмосферой называется газообразная оболочка Земли, простирающаяся на высоту более 1000км. В атмосфере выделяют три основных слоя: тропосферу – приземный слой атмосферы, верхний слой которой лежит на высоте 10...14 км; стратосферу – слой атмосферы до высот 60...80 км; ионосферу – ионизированный воздушный слой малой плотности над стратосферой, переходящий затем в радиационные пояса Земли. На высотах в сотни километров различные газы, составляющие воздух, располагаются слоями, более тяжелые – ниже, более легкие – выше. Таким образом, атмосфера на этих высотах неоднородна по составу.

Воздух ионизируется под влиянием лучей Солнца, космических лучей и других факторов, т.е. часть атомов газов, входящих в состав воздуха, распадается на свободные электроны и положительные ионы. на распространение радиоволн оказывает сильное влияние ионизированный воздух.

Для различных газов максимум ионизации получается на разной высоте. Ионизированный слой атмосферы – ионосфера – состоит из нескольких слоев, представленный на рисунке 1.2

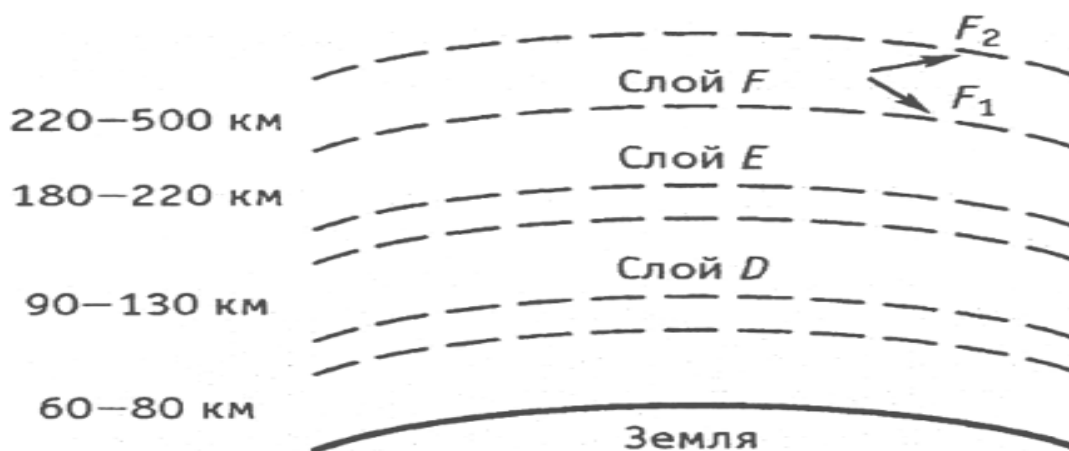


Рисунок 1.2 – Слои ионосферы

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		12

На высоте 60...80 км находится слой *D*, существующий только днем. Следующий слой *E* располагается на высоте 90...130км. Еще выше находится слой *F*, имеющий ночью высоту 250...350км, а днем разделяющийся на два слоя: *F1* – на высоте 180...220км и *F2*– на высоте 220...500км.

В разное время суток и года высота, толщина и проводимость ионизированных слоев отличается,. Чем больше ионизирующее действие солнечных лучей, тем больше проводимость и толщина ионизированных слоев и тем ниже они располагаются. Днем проводимость и толщина их больше, а высота над землей меньше, чем ночью. Летом проводимость и толщина ионосферных слоев больше, а высота меньше, чем зимой. Через каждые 11 лет на Солнце повторяется максимум солнечных пятен, являющихся мощными источниками ионизирующих излучений. В это время проводимость и толщина ионизированных слоев достигают максимума, и они располагаются ниже.

Таким образом, свойства земной атмосферы, влияющие на распространение радиоволн, изменяются по довольно сложным законам. Происходят также изменения случайного характера, которые предусмотреть вообще невозможно.

Радиоволны, находясь в ионосфере, изменяют свое направление — это основное влияние ионосферы на распространение радиоволн. Причина этому вследствие неоднородности характера ионосферы. Если бы ионосфера и воздух имели бы относительную диэлектрическую проницаемость одинаковую, то направление волны было бы неизменно. Так как в ионосфере имеются свободные электроны, ее относительная диэлектрическая проницаемость меньше диэлектрической проницаемости неионизированного воздуха. Вследствие этого при переходе из воздуха в ионосферу происходит преломление волны, а поскольку концентрация электронов в верхних слоях ионосферы возрастает, то волна, многократно преломляясь, возвращается на землю.

Кроме изменения направления распространения радиоволн в ионосфере происходит поглощение их энергии. Объясняется это тем, что радиоволны, попадая в ионосферу, вызывают колебания находящихся там свободных

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		13

электронов. Совершая колебательное движение, электроны сталкиваются с тяжелыми частицами – ионами и молекулами. При этом они теряют энергию, приобретенную от радиоволны, и передают ее указанным частицам; ионосфера нагревается. Таким образом, часть энергии радиоволны в ионосфере теряется. Чем выше частота радиоволн, тем меньше скорость колебательного движения электронов. Кинетическая энергия, получаемая ими от радиоволны и отдаваемая затем тяжелым частицам, оказывается меньше. Поэтому с повышением частоты потери энергии радиоволны в ионосфере уменьшаются.

Подводя итоги вышеизложенному, можно отметить следующее:

- с ростом частоты отражательная способность уменьшается;
- состояние ионосферы и связанные с ним условия распространения имеют периодические и непериодические изменения;
- из-за неоднородностей ионосферы радиоволны преломляются в ней и отражаются по земной поверхности;
- с ростом частоты уменьшается поглощение волн в ионосфере

Отличительной особенностью мириаметровых и километровых волн является их способность хорошо огибать землю. Поэтому напряженность поля земной волны значительна на расстояниях 1500...2000км от источника электромагнитных волн. Однако практическая возможность обеспечивать на этих волнах связь на расстоянии до 20 000км не может быть объяснена только дифракцией. Не только слой *E*, но в дневные часы даже слой *D* имеет такую плотность ионизации, при которой радиоволны этих диапазонов способны отражаться при любом угле возвышения, в том числе и при вертикальном.

Отраженная этими слоями пространственная волна частично поглощается землей, а частично отражается от нее, вновь достигая ионизированных слоев. Такое отражение может быть многократным. Учитывая, что при отражении от ионосферы волны сильно поглощаются, для обеспечения связи требуются передатчики большой мощности. Кроме того, недостатками этого диапазона волн являются необходимость строить антенны высотой в несколько сотен

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		14

метров, большой уровень атмосферных помех и невозможность размещения в этих диапазонах большого числа каналов связи.

Условия распространения в диапазонах мириаметровых и километровых волн характеризуются стабильностью. Регулярные и нерегулярные изменения напряженности выражены очень слабо. Поэтому в этих диапазонах волн созданы очень мощные радиостанции для глобальной (всемирной) радиосвязи. Такие системы имеют важное стратегическое значение и обеспечивают бесперебойную радиосвязь с объектами, находящимися на любом удалении от радиопередатчика (в том числе с подводными лодками в погруженном состоянии). В этом же диапазоне создана служба передачи точных частот, необходимая для систем связи во всех диапазонах частот, а также для систем радионавигации, службы времени и других научно-исследовательских и хозяйственных целей. В диапазоне километровых волн ведется также радиовещание с амплитудной модуляцией.

Для диапазона средних волн характерны ограниченная дальность распространения в дневные часы и увеличение дальности в ночное время. В дневные часы пространственные волны практически отсутствуют. В слое  $D$  эти волны испытывают незначительные поглощение и преломление. Но попав в слой  $E$  с большей степенью ионизации, они испытывают такое сильное поглощение, что на землю почти не возвращаются. Поэтому днем связь на средних волнах осуществляется только поверхностной волной. Практически дальность действия поверхностных волн ограничивается расстоянием 1000... 1500км.

Вечером и ночью поглощение ионосферой уменьшается. Пространственная волна отражается от слоя  $E$  и мало поглощается им. Напряженность поля в пункте приема является результатом интерференции земной и пространственной волн. Участие ионосферы в распространении средних волн в ночное время сопровождается некоторыми особенностями. Первой из таких особенностей следует считать замирания (уменьшения) амплитуды сигнала в точке приема. Предположим, что в точке  $A$  находится

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		15

передатчик, а в точке Б ведется прием. Особенность распространения гектометровых волн смотрите на рисунке 1.3.



**Рисунок 1.3 – Уменьшение амплитуды сигнала в точке приёма**

Днем в точке приема Б доходят только земные волны, то ночью смогут проходить, отраженные ионосферой волны. Поле в пункте приема становится в этом случае результатом интерференции земных и ионосферных волн. Результирующее поле усиливается при совпадении фаз волн, и слабеет при противофазности. Но степень ионизации отражающего слоя и, следовательно, глубина проникновения в него радиоволн не остаются постоянными. Вследствие непостоянства ионизирующего излучения Солнца и наличия воздушных течений они изменяются по случайному закону. В результате этого изменяется длина пути пространственных волн, а значит, и фазовый сдвиг между земными и пространственными волнами. Сопровождается замираниями, но ночью прием улучшается. На больших же расстояниях, прием возможен лишь в темное время за счет ионосферных волн, по причине того, что земные волны практически не доходят.

Проблема замираний актуальна на сегодняшний день и бороться довольно трудно. Наиболее применяемым методом является разнесенный прием. Осуществлять прием на 2-3 антенны, расположенные на расстоянии 200-300 м друг от друга.

Большой уровень атмосферных и промышленных помех следует отнести к недостаткам этого диапазона волн.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		16



Основу для организации радиовещания во многих странах является диапазон гектометровых волн. В диапазоне СВ передающие антенны выполняются в виде башен или мачт.

Декаметровые (короткие) волны. Диапазон частот от 3 до 30 МГц – высокие частоты (ВЧ). Коротковолновый диапазон, применяется для любительской и профессиональной радиосвязи на расстояния в тысячи и десятков тысяч километров. Поверхностные волны в этом диапазоне имеют малую способность к дифракции и кривизну земного шара практически не огибают, поэтому радиосвязь на декаметровых волнах проводится только с помощью пространственных волн. Обычно в дневное время для связи применяют «дневные» волны (от 10 до 20 м), а ночью, когда ионизация становится более слабой, – «ночные» волны (от 35 до 70 м). Из-за глубоких замираний сигнала часто связь нарушается. Замирания происходят по причине: изменения разности фаз лучей, дошедших в точку приема по различным путям (интерференционные замирания с периодом несколько секунд); вследствие двойного лучепреломления в ионосфере (поляризационные замирания) происходит поворот плоскости поляризации; завышенное затухание в слое *D* в периоды максимума солнечной активности вплоть до полного поглощения пространственной волны (длительность замирания до 60 мин); исчезновение слоя *P2* в высоких широтах и снижение МПЧ в средних широтах из-за корпускулярного излучения Солнца (внешние признаки появления полярных сияний, длительность нарушений связи несколько дней). Меры борьбы с интерференционными и поляризационными замираниями – применение глубокой АРУ в приемниках, прием на разнесенные антенны и на разнесенных частотах, а при замираниях из-за корпускулярного излучения Солнца переход на более низкие частоты.

Появление «зоны молчания» в виде кольцевой области возможно при связи на декаметровых волнах, которая заключена между расстоянием и радиусом действия поверхностной волны, на котором появляется отраженная от ионосферы пространственная волна. Качество дальней связи на верхнем уровне

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		17

диапазона частот может ухудшаться также из-за того, что в точку приема кроме основного сигнала приходит с большим временным сдвигом (до 0,1с) второй сигнал, прошедший более длинный путь по дуге большого круга (кругосветное эхо).

## 1.2 Влияние помех на качество связи

От чего связь на радиоволнах так зависит от помех? Причина в том, что в состав радиолокационных, радионавигационных систем, систем радиуправления и систем радиосвязи, входит радиоприемник. Прием происходит любого электромагнитное излучения, находящегося соответствующем настроенном диапазоне волн. При условии, если уровень излучения будет достаточно мощным, то полезный сигнал будет не заметен.

По мере внедрения радиоэлектроники в вооруженные силы поле действия радиоволны расширялось. Управление войсками во многом происходит за счет радиосвязи. При случае нарушения процесса радиосвязи руководство по радио становится бесполезным, если его радиоэлектронная система парализована. Радиоволна вызвана объективными процессами в развитии военной техники, обусловленными непрерывной гонкой вооружений между средствами поражения и защиты. Появление нового вооружения и новейших средств связи всегда влечет за собой разработку методов и средств, противодействия ему. Так получилось и при внедрении радиоэлектроники в вооруженные силы.

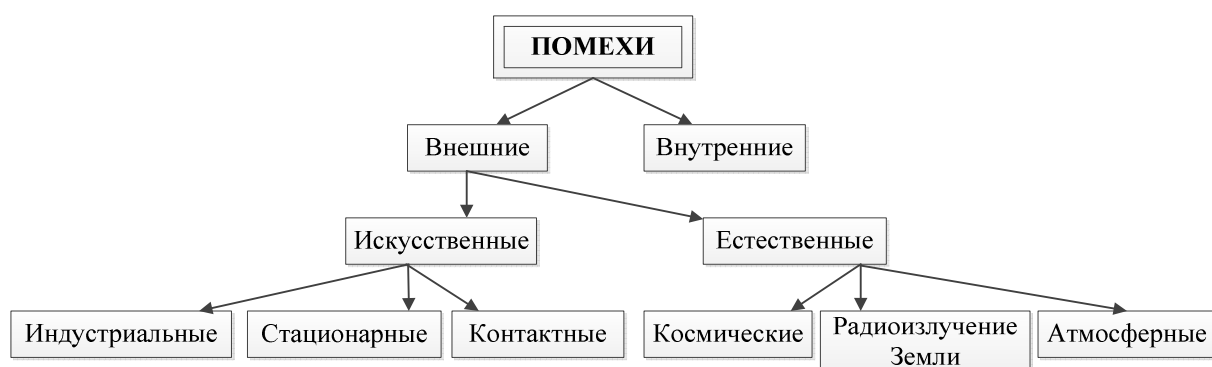
Электромагнитные волны, не несущие полезной информации на частотах спектра сигнала, представляют собой радиопомехи. Они маскируют полезные сигналы и искажают, усложняя обработку сигнала, повышается уровень возрастания вероятности ошибок при прохождении информации по радиоканалам. Различают помехи общего и нормального вида.

Помехи нормального вида – такие помехи, источник которого является элемент в цепях данного тракта устройства или канала связи. Чаще всего

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		18



и причинам, их вызывающим. Классификация помех по месту и причинам, их вызывающим, представлена на рисунке 1.5.



**Рисунок 1.5 – Классификация помех**

Происхождение радиопомех может быть естественным и искусственным (промышленные, стационарные). Помехи искусственного происхождения могут быть преднамеренными и непреднамеренными, а по способу создания – активными, генерируемыми специальными передатчиками, и пассивными, возникающими при отражении собственных волн радиоэлектронных средств от местных предметов.

Вследствие непрерывного роста количества радиоэлектронных средств и случайного характера их работы уровень стационарных помех изменяется хаотично, а характеристики преднамеренных помех, для затруднения борьбы с ними, все чаще изменяются по случайному закону. Кроме того, следует учитывать, что в промышленно развитых странах количество радиоэлектронных средств удваивается каждые пять лет.

Это требует совершенствование техники связи по следующим направлениям: создание приемников и передатчиков с повышенной стабильностью частоты; разработка новых модуляторов и демодуляторов, позволяющих сузить спектр сигнала и повысить его помехоустойчивость; разработка антенных устройств с повышенной пространственной и поляризационной избирательностью; совершенствование частотно диспетчерской службы.

Источники электропитания являются неотъемлемой составной частью радиотехнической системы и в значительной степени определяют такие эксплуатационные характеристики, как коэффициент полезного действия, помехоустойчивость, надёжность. Успешная работа аппаратуры радиолокации, радиосвязи невозможна без электрической энергии заданного качества, которое обеспечивают системы электропитания. Повышение помехоустойчивости устройств идет по пути подавления как внешних, так и внутренних помех, создаваемом, в том числе источником питания. Поэтому система электропитания должна, спроектирована так, чтобы её функциональные узлы, с одной стороны, не создавали помех для питаемых ими устройств и друг другу, а с другой – были бы защищены от воздействия помех со стороны потребителей и питающей сети. Существует множество механизмов возникновения помех в цепях питания аппаратуры. Это связано с тем, что электрическая сеть системы электропитания имеет большую протяжённость и объединяет самых разных потребителей постоянного и переменного тока с нелинейным и импульсным характером нагрузок. Кроме того, работа радиотехнического устройства вносит искажения в форму питающей сети. При этом часть помех могут меняться в очень широких пределах – от десятков и сотен герц (гармоники, провалы и выбросы напряжения питания при коммутации больших нагрузок) до сотен килогерц (например, при работе импульсных выпрямителей). Таким образом, устройство системы электропитания могут являться источником помех для других объектов, так и рецептором по отношению к ним.

Влияние внутрисистемных помех на аппаратуру бывает разнообразным – от временных ухудшений характеристик канала передачи информации, сбоя цифровой техники и искажения на экранах мониторов до физического повреждения и выхода из строя аппаратуры и токораспределительных сетей. Иногда при анализе той или иной неисправности очень трудно определить, что реальной причиной является проблемы электромагнитной совместимости. Всесторонний анализ и излучения воздействия помех в системах питания возможен только на основе моделирования. Разработка математических и

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

имитационных моделей для анализа систем электропитания с учётом влияния внутренних помех позволит ответить на многие вопросы. Такие модели разработаны и используются на практике.

Внешние помехи разделяются на естественные и искусственные. К естественным помехам относятся атмосферные, промышленные, космические и другие внеземные помехи. Промышленные или индустриальные помехи условно включены в раздел естественных помех в силу широкого распространения электроустановок в народном хозяйстве, на транспорте ит.д. Вокруг сосредоточения промышленных установок, порой даже на значительных расстояниях от них наблюдается шумовой фон со специфическими устойчивыми характеристиками. Промышленные помехи можно отнести также и к искусственным помехам.

Естественные помехи:

1. космические шумы, реликтовое излучение;
2. радиоизлучение Земли и объектов Солнечной системы;
3. атмосферные помехи Земли.

К искусственным помехам принято относить помехи, которые создаются радиостанциями и радиоэлектронными средствами. Их подразделяют на непреднамеренные (станционные) и преднамеренные (специально организованные).

Искусственные помехи:

1. индустриальные или промышленные помехи – излучение промышленных установок, бытовых электроприборов;
2. контактные помехи, возникающие при переходных процессах;
3. станционные помехи – от других радиоэлектронных средств: радиостанции и радиолокаторов.

По месту возникновения помехи подразделяются на внутренние и внешние. Кроме внешних помех в любом диапазоне частот, особенно на УКВ, имеют место внутренние помехи, представляющие собой шумы самой

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		22

аппаратуры, которые вызваны хаотическим движением носителей заряда в элементах приемных устройств.

Таким образом, мощность помех на входе приемного устройства представляет собой сумму мощностей внешних помех и внутренних помех (шумов).

Все виды помех носят случайный характер. Исключение могут составить лишь преднамеренные помехи. Тем не менее, несмотря на случайный характер помех, они имеют устойчивые статистические характеристики. Это дает возможность прогнозировать средний уровень помех в зависимости от диапазона частот, местоположения приемного устройства и других условий.

Помехи по своей статистической структуре и частотно-временным свойствам подразделяются на флуктуационные, сосредоточенные импульсные.

Наиболее изученной и представляющей наибольший интерес является флуктуационная помеха. Она имеет место практически во всех каналах связи. Интересно отметить, что большое число различных помех, каждая из которых может быть не флуктуационной, даст флуктуационную помеху, которая будет представлять собой случайный процесс с нормальным распределением. Кроме того, многие нефлуктуационные помехи, пройдя через тракт приемного устройства, приближаются по своим свойствам к флуктуационной помехе. Характерной особенностью флуктуационной помехи является то, что ширина ее спектра намного больше полосы канала.

Наиболее типичными представителями флуктуационных помех являются внутренние шумы приемника, космические помехи и некоторые виды атмосферных и промышленных помех.

К сосредоточенным по спектру помехам относятся помехи, энергия которых сосредоточена в некоторой полосе частот. Сосредоточенные по спектру помехи создаются различными радиостанциями, радиоэлектронными средствами и электроустановками, а также возникают внутри самого канала связи. Как правило, это синусоидальные модулированные колебания вида.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		23

Колебания вида могут быть непрерывными, если они создаются сигналами посторонних вещательных и телевизионных систем, или дискретными, если они являются сигналами радиотелеграфных радиостанций или систем передачи данных. При большой нагрузке канала радиосвязи сосредоточенными помехами их статистические характеристики приближаются к свойствам флуктуационной помехи.

Сосредоточенная помеха в диапазоне КВ является основной помехой, которая определяет помехоустойчивость радиосвязи. Импульсными или сосредоточенными по времени помехами называются помехи в виде отдельных импульсов или импульсных последовательностей. При этом длительность импульсов помехи намного меньше длительности сигнала, что позволяет установиться переходным процессам в радиоприемнике от импульсной помехи в промежутке между импульсами. Импульсные помехи представляют собой дискретный нерегулярный процесс в виде случайно следующих по времени импульсов различной амплитуды. Статистические свойства импульсных помех описываются распределением вероятностей амплитуд импульсов, их длительностей и временных интервалов между ними.

### 1.3 Общие понятия радиомониторинга

Радиомониторинг – деятельность по изучению и контролю радиообстановки, обнаружение и поиск законных и незаконных радиопередатчиков и источников других радиоизлучений. Непрерывность получения данных, актуальность и достоверность добываемых данных, является важным достоинством радиомониторинга. Непрерывность достигается постоянством работы средств мониторинга, актуальность – своевременностью получения необходимых для принятия решения данных достоверность – документальным характером поступающей информации.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		24



Многоканальные сканирующие приемники в настоящее время используются, в качестве основных средств радиомониторинга, позволяющие осуществлять автоматически как поиск находящихся в эфире радиосигналов, так и постоянный контроль заранее заданных частот связи. Кроме сканеров в процессе ведения радиомониторинга применяется и другая необходимая аппаратура: портативные частотомеры, анализаторы радиоспектра, широкополосные антенны, полосовые и режекторные фильтры, малошумящие антенные усилители, устройства шумочистки речи, высокочастотные кабели с малыми потерями и др.

Получение своевременного и качественного результата радиомониторинга, как и в подобных сферах деятельности, зависят не только от наличия дорогостоящей аппаратуры, но и правильного расположения и монтажа антенн и кабелей, и от методов и приемов работы.

Область применения систем радиомониторинга должна быть ограничена исходя из бюджетных ограничений и с учетом определенных требованийи задач и осуществлять:

1. Контроль и измерения за радиоэлектронными средствами, предназначенными для передачи (излучения)электромагнитных волн различных диапазонов, с целью обеспечения электромагнитной совместимости различных средств связи, выполнения санитарных норм и законодательных ограничений.

2. Получение информации о работающих передатчиках в определённой местности (или в пределах объекта), определение их типа, основных характеристик, количества и демодуляция/декодирование передаваемой информации с целью их обнаружения или контроля.

3. Обнаружение, наблюдение, перехват и обработка данных, полученных при помощи средств радиомониторинга, как средство оперативного получения информации в целях выполнения информационной безопасности (радиоразведка – разновидность радиомониторинга).

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		25

## 1.4 Технические средства радиомониторинга

Главным средством для радиомониторинга является – радиоприёмное устройство, предназначенное для работы в определённом диапазоне частот. В зависимости от задачи это может быть радиоприёмник или анализатор спектра. Важнейшим элементом радиоприёмного устройства является антенна, которая выбирается в зависимости от диапазона частот, задачи и условий применения РПУ. Оборудование для радиомониторинга может быть рассчитанным как на определённый диапазон частот и тип сигналов, так и быть широкополосным, универсальным. РПУ может быть оборудовано различными демодуляторами, устройствами визуального отображения и регистрации радиосигналов, возможностью записи, различными средствами технического анализа. Обычно РПУ специально предназначенное для радиомониторинга имеет специальные функции для поиска радиосигналов, таких как поиск в заданном диапазоне или сканирование ячеек памяти, отображение спектра в реальном времени или его записи, автоматическая регистрация сигналов на выходе демодулятора. РПУ часто является частью комплекса, предназначенного для радиомониторинга и находится под управлением компьютера, который управляет РПУ, обеспечивает интерфейс, регистрирует данные. Комплекс для радиомониторинга может иметь дистанционное управление, например с целью пеленгации радиосигналов или удаленного наблюдения за электромагнитной обстановкой и информационной безопасностью. РПУ бывают автономными, с собственными органами управления.

Приемники и анализаторы спектра являются незаменимыми инструментами всех служб радиомониторинга. Основные различия состоят в том, что приемники, как правило, обеспечивают предварительную селекцию в тракте радиочастоты и предназначены для демодуляции, в то время как анализаторы спектра предназначены для отображения спектральных характеристик радиочастотного сигнала. Измерения, касающиеся аналоговых радиослужб, в том числе, например, измерения отклонения частоты и

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		26

суммарной мощности сигнала ЧМ-радиовещания должны выполняться в приемнике. Измерения напряженности поля также выполняются с использованием приемников. Измерения таких параметров, как частота и ширина полосы, могут осуществляться и с использованием анализатора спектра. Анализаторы могут использоваться также для измерения сигналов с цифровой модуляцией или для обнаружения неизвестных источников помех. Современные приемники могут обладать некоторыми характеристиками, которые обычно требуются от анализаторов спектра. И наоборот, анализаторы спектра, работающие в режиме нулевого интервала времени, могут выполнять некоторые функции приемников. В то же время выполнение анализа с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ) и в приемнике, и в анализаторе спектра стало приемлемым в ценовом отношении, и ему следует отдавать предпочтение. Совсем не обязательно, что этот метод окажется более дорогостоящим, чем традиционный анализ с использованием качающейся частоты.

По характеру применения можно разделить РПУ на:

1. портативные;
2. носимые/мобильные;
3. стационарные.

Поисковые способы— основаны на перестройке приёмника в заданной полосе частот. При значительном времени разведки позволяют обнаружить и измерить несущую частоту с высокой точностью. Различают три способа поиска:

1. медленный поиск;
2. быстрый поиск;
3. поиск со средней скоростью.

При медленном поиске время перестройки приёмника на ширину его полосы пропускания больше периода повторения сигнала. Медленный поиск хорошо подходит для обнаружения постоянно работающих радиоэлектронных средств. При этом точность определения частоты очень высокая. Серьёзными недостатками медленного поиска являются большое время обнаружения сигнала

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		27

и малая вероятность разведки кратковременно работающих радиоэлектронных средств. Для преодоления этого изъяна, приходится увеличивать ширину полосы пропускания приёмника, что приводит к снижению чувствительности.

При быстром поиске время перестройки приёмника во всём диапазоне очень мало, а скорости перестройки очень велики (сотни и тысячи мегагерц в микросекунду). При данном способе поиска высока вероятность обнаружения кратковременно работающих радиоэлектронных средств за один период перестройки приёмника, однако разрешающая способность и точность определения частоты по сравнению с медленным поиском ниже, что связано с инерционностью резонансных цепей приёмника.

При поиске со средней скоростью, обнаружение кратковременных сигналов не гарантируется в течение одного периода перестройки, остальные же параметры оказываются достаточно хорошими для целей радиомониторинга.

Беспоисковые способы – основаны на одновременном приёме сигналов в широком диапазоне рабочих частот без перестройки гетеродинов или фильтров. Время разведки частоты действующих радиоэлектронных средств может быть очень малым, так как все составляющие спектра выявляются одновременно и практически мгновенно.

Типы беспоисковых методов:

1. интерференционные способы;
2. использование одноканальных приёмников;
3. использование многоканальных приёмников.

Интерференционный способ основан на известной зависимости сдвига фазы от длины пути и частоты. Сигнал с выхода антенны разветвляется на две фидерные линии различной длины. После прохождения этих линий происходит временное смещение сигналов. Полученные сигналы нормируются по уровню и вычитаются. Достоинством интерференционного способа является простота реализации аппаратуры, недостатком – снижение точности при расширении диапазона разведки и низкая чувствительность.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		28

Одноканальные приёмники широкополосные: их полоса пропускания равна диапазону разведываемых частот. Простейший широкополосный приёмник прямого усиления состоит из антенны, демодулятора, видео усилителя и индикатора. Точность определения частоты и чувствительность низкие. Одноканальные приёмники применяются лишь для установления самого факта облучения.

Многоканальные приёмники обеспечивают высокую точность определения частоты. Это связано с тем, что рабочий диапазон частот разделяется системой фильтров на ряд поддиапазонов. Полосы прозрачности фильтров примыкают друг к другу. Многоканальные приёмники применяются для грубого определения частоты и типа радиоэлектронного средства. Число каналов в них достигает нескольких десятков.

Для исследования динамического диапазона выбрана структура приемника с прямым преобразованием. Выбор обоснован тем, что реализация приемника прямого преобразования проще и перспективнее с точки зрения развития схемотехнически реализации.

К сожалению, в бывшем СССР с 1980г. разработки анализаторов спектра не проводились. За это время за рубежом сменилось три поколения этих приборов, они перешли на современную унифицированную цифровую и аналоговую элементную базу.

Разработки анализаторов спектра среднего уровня возобновились на производственной фирме «Эльвира». Из разработанных ею в последние годы отечественных анализаторов спектра можно отметить модель СК4-Белан. Выполненная на современной зарубежной элементной базе эта модель мало уступает зарубежным образцам начала этого века. Прибор снабжён встроенным источником автономного питания (аккумулятором), что позволяет использовать его в полевых условиях. Цена прибора около 166 000 рублей, что примерно вдвое меньше цены зарубежных анализаторов спектра такого класса.

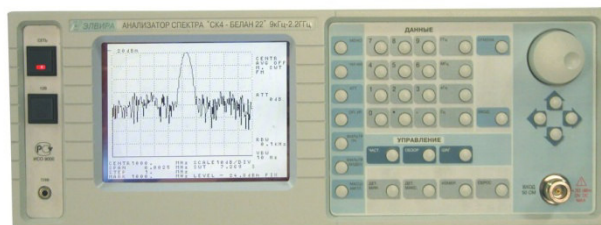
СК4-Белан имеет следующие параметры:

1. диапазон рабочих частот 10кГц – 2200/3500МГц;

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		29

2. точность задания центральной частоты для анализа  $\pm 10$  Гц во всем рабочем диапазоне;
3. полосы пропускания ПЧ-фильтров по уровню 3дБ: 100Гц, 200Гц, 300Гц, 1кГц; 3кГц; 9кГц; 10кГц; 30кГц; 100кГц; 120кГц; 300кГц; 1МГц;
4. коэффициент прямоугольности по уровням минус 60дБ и минус 3дБ  $< 5:1$ ;
5. средний уровень шумов (на частоте 1ГГц, 0дБ аттенуатор, фильтр ПЧ 1кГц) – 125дБм;
6. чувствительность (на частоте 1ГГц, 0дБ аттенуатор):  $< -100$ дБм при фильтре 10кГц;  $< -90$ дБм при фильтре 300кГц;
7. паразитная ЧМ при полосах обзора менее 1МГц в полосе 100Гц менее 5Гц;
8. максимальный входной уровень +30дБм;
9. есть возможность управления от компьютера по RS-232-порту;
10. точность измерения амплитуды сигнала  $\pm 2$ дБ;
11. вес со встроенным аккумулятором – 9,5кг.

С 2004 года стал выпускаться анализатор спектра СК4-Белан 32 с полосой обзора до 3,2ГГц. Это первый отечественный прибор, который по своим рабочим характеристикам не уступает импортным аналогам. Внешний вид прибора представлен на рисунке 1.6.



**Рисунок 1.6 – внешний вид СК4-Белан 32**

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		30

Параметры прибора следующие:

1. диапазон рабочих частот 9кГц...3,2ГГц;
2. измерение уровней от +30дБм до -135дБм. При измерении амплитуды -135дБм типичное соотношение сигнал-шум составляет 15дБ;
3. средний уровень собственных шумов на частоте 3 ГГц: -140дБм в полосе ПЧ 10 Гц и -150дБм в полосе ПЧ 1Гц;
4. цифровой тракт ПЧ со значением фильтров 1Гц...1МГц с кратностью шага 1, 3, 10;
5. фильтры 200Гц, 9кГц, 120кГц;
6. неравномерность АЧХ для входных уровней +10дБм...-60дБм во всём диапазоне частот не превышает ±1,5дБ;
7. современное развитое меню;
8. широкий выбор детекторов: СКЗ, максимум, минимум, выборки, нормальный, квазипиковый;
9. широкий выбор демодуляторов: АМ, узкополосный ЧМ, широкополосный ЧМ;
10. любая размерность логарифмической шкалы;
11. возможность одновременно вывести на экран три графика: текущий и два сохранённых;
12. стандартно поставляется ПО для измерения фазовых шумов – дорогостоящая опция у импортных аналогов;
13. разъём для подключения *USB*-носителя информации на передней панели;
14. встроенная Windows XP;
15. вес 18кг.

Максимальный динамический диапазон свыше 100дБ. Гарантированное значение интермодуляционных искажений третьего порядка, возникающих при подаче на вход двух равно амплитудных сигналов с уровнем -30дБм и разносом по частоте 30кГц, не превышает - 76дБн.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		31

За рубежом под торговой маркой *АКТАКОМ* выпускаются два вполне современных настольных анализатора спектра *АСК-1301/1601*. Оба анализатора имеют одинаковый и вполне современный вид, показанный на рисунке 1.7



**Рисунок 1.7 – внешний вид АСК-1301**

Анализатор спектра *АСК-1301* – универсальный анализатор спектра, рассчитанный на рабочую частоту от 9кГц до 3ГГц, в то время как *АСК-1601* – первый в линейке *АКТАКОМ* анализатор спектра с полосой частот обзора до 6,2ГГц с минимальным разрешением 1Гц.

Следует отметить, что в модельном ряду *АКТАКОМ* достаточно давно присутствуют портативные анализатора спектра и электромагнитные поля, такие как *АКС-1201*, *АКС-1291*, *АСК-1292*. Новые анализаторы спектра *АСК-1301* и *АХК-1601* – это профессиональные приборы с широкими возможностями и прекрасными техническими характеристиками.

Рассматриваемые анализаторы отличаются хорошей полосой обзора (100Гц/дел...300МГц/дел), широким динамическим диапазоном (от –105 до +20дБм без предусилителя) и высокоточным генератором опорной частоты (погрешность и стабильность менее 0,5ppm). В приборах реализована новая



система цифрового частотного синтеза для высокого разрешения (до 1Гц) при проведении частотных измерений и широкий набор фильтров.

Одним из достоинств АСК-1301 – встроенный штатный предусилитель. Типичное значение уровня собственных шумов при включенном предусилителе составляет –130дБм, а динамический диапазон расширяется до +20дБм...–130дБм.

Как известно, наибольшее влияние на правильность измерения оказывают гармонические искажения 2-го порядка и интермодуляционные искажения 3-го порядка, возникающие при подаче на вход двух равно амплитудных сигналов. Для АСК-1301 значение гармонических искажений 2-го порядка составляет не более –60дБн при уровне входного сигнала –40дБн, а значение интермодуляционных искажения 3-го порядка составляет не более –70дБн.

Приборы имеют большую энергозависимую память (900 спектров и 3000 настроек), а также встроенный *USB 2.0* хост.

Приборы снабжены стандартными для спектр анализаторов автоматическими измерениями, маркерными измерениями, осуществляет запись спектрограмм и настроек с временными метками или профилей. Все результаты измерений отображаются на цветном жидкокристаллическом дисплее с разрешением 640×480. Сам прибор имеет массу 10кг. Цена портативного анализатора спектра АСК-1301/1601 фирмы АКТАКОМ составляет примерно 217 840 рублей без дополнительной комплектации (ПО, набор измерительных кабелей, набор принадлежностей и тренинг-генератора).

Так как с повсеместным распространением цифровых средств связи, задачи радиомониторинга значительно усложнились. На охраняемых территориях и государственных объектах и в непосредственной близости от них, как правило, находятся различные легальные общественные, ведомственные и персональные средства связи. Сотовые стандарты: GSM-900/1800, CDMA-2000, UMTS, LTE, средства передачи данных: WiMAX и WiFi, транкинговые и персональные сети TETRA, DMR, беспроводные телефоны DECT, беспроводные

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		33

видеокамеры DVB-T и др. Радиозакладки могут использовать стандартные виды модуляции и не отличаться от легальных по спектральным и временным характеристикам.

Приемник по технологии SDR может обеспечить более высокую эффективность, чем при использовании традиционных аналоговых методов, т.к. при цифровой обработке сигналов их фильтрация близка к идеальной. Кроме того, с помощью программных алгоритмов могут быть реализованы такие функции, которые очень сложно получить при аналоговой обработке.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		34

## 2 АНАЛИЗ И ПУТИ РАЗРАБОТКИ SDR ПРИЁМНИКА

### 2.1 Понятие о SDR-технологии

Основным форматом вещания радиосигнала в начале 80-х годов прошлого века была амплитудная модуляция (АМ). Качество принятого сигнала было невысоким из-за затухания в канале, искажений и шумов. Частично эти эффекты удалось устранить с переходом на частотную модуляцию. Частотно-модулированный сигнал обеспечивает звучание CD-качества и имеет ограниченную зону распространения. В 2003 году две молодые компании – XM и SiriusXM) совершили прорыв в развитии цифрового спутникового радиовещания в США. Доход от новой технологии можно сравнить с доходом каналов платного телевидения. В это же время (World Space Radio) начало вещание на территории Азии и Африки.

Звуковые сервисы спутникового радио (SDARS-Satellite Digital Audio Radio Services) позволяют непрерывно слушать одну и ту же радиостанцию в автомобиле в любой точке зоны покрытия за исключением возможной потери сигнала из-за препятствий (зданий, туннелей и листвы деревьев).

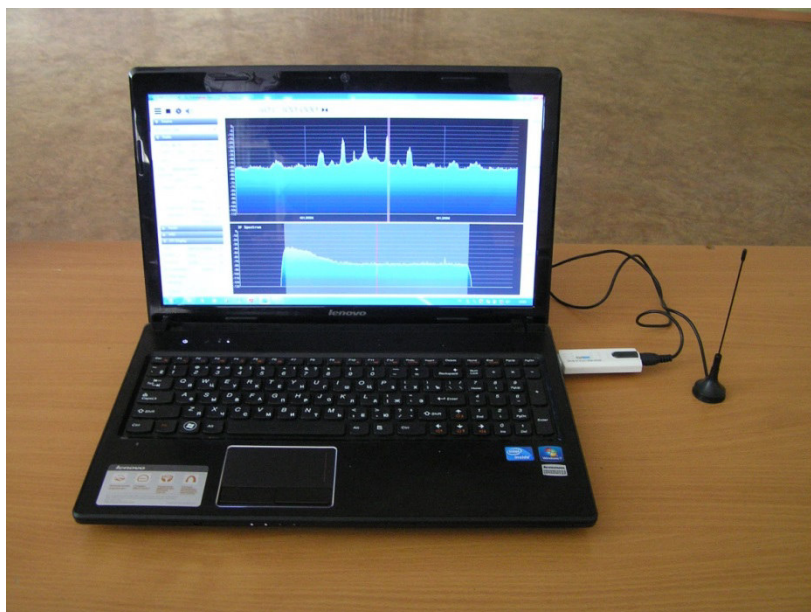
В радиоприёмниках XM данная проблема была решена за счёт установки наземных репитеров, которые передавали тот же сигнал в условиях плотной городской застройки. Сеть вещания имела смешанную архитектуру, состоящую из спутникового и наземного оборудования.

Примерно в это же время ведущие компании в области наземного вещания также стали осваивать технологию цифрового радио, и этому способствовали две причины. Во-первых, они понимали, что эра аналогового радио подходит к концу, весь мир переходит на цифровое вещание, как более качественное. Во-вторых, частотный спектр становится все более дефицитным, а цифровые методы обработки позволяют сжать данные, разместив больше информации на отведенной полосе.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		35

Цифровой способ вещания обеспечивает более чистый сигнал, большую зону покрытия, возможность упаковки большего объёма информации на выделенной полосе. Кроме того, пользователи получают больше возможностей для доступа к прослушиванию программ.

В современных телекоммуникационных технологиях продолжается стремительный переход к цифровым методам передачи и обработки сигналов. Все больше функций современных радиосистем реализуется посредством программного обеспечения (ПО), что приводит к появлению радиооборудования, функциональность которого задаётся и изменяется программно. Речь идёт о технологии *SDR* (программно определяемое радио) представленное на рисунке 2.1



**Рисунок 2.1 – работа SDR-приёмника**

До недавнего времени с этой технологией связывали исключительно телекоммуникационные приложения. Однако создали *SDR*-платформу, позволяющую строить на её основе не только телекоммуникационное, но и контрольно-измерительное оборудование. Технические данные данной платформы представлены в таблице 4 приложение 1.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		36

В *SDR*-оборудовании форма модулированного радиосигнала задаётся в ПО. Формируется цифровой сигнал, который затем с помощью широкополосного ЦАП преобразуется в аналоговый на промежуточной частоте (ПЧ). Далее сигнал ПЧ посредством преобразования вверх превращается в высокочастотный сигнал. В приемнике все происходит в обратном порядке. Широкополосный АЦП преобразует в цифровой вид множество узкополосных сигналов, попадающих во входной тракт приемника. В соответствии со встроенным ПО приемник извлекает, преобразует вниз и демодулирует сигналы каждого канала, т.е. технология *SDR* позволяет изменять эксплуатационные параметры радиооборудования на уровне ПО.

Технология *SDR* использует комбинацию методов, затрагивающих аппаратную и программную части. Аппаратная часть включает многодиапазонные антенны и радиочастотные преобразователи; широкополосные ЦАП и АЦП; а обработка сигналов ПЧ, демодулированных сигналов и результирующего цифрового потока происходит с помощью программируемых процессоров общего назначения. Традиционный аналоговый приемник, где АЦП преобразует сигнал с выхода аналоговых квадратурных каналов, имеет следующие недостатки: необходимость точной настройки; чувствительность к температуре и разбросу параметров компонентов; нелинейные искажения; сложность построения перестраиваемых фильтров и фильтров с подавлением более 60дБ. Но благодаря развитию современной полупроводниковой элементной базы, в первую очередь – АЦП и ЦАП, теперь можно преобразовывать сигнал непосредственно с выхода промежуточной частоты. Достоинства *SDR*-приемника: не требует настройки; низкая чувствительность к температуре и разбросу параметров компонентов; простота реализации перестраиваемых фильтров с подавлением более 80дБ; высокая точность и широкий диапазон перестройки фазы и частоты гетеродина.

Технология *SDR* традиционно используется в специальных областях телекоммуникаций (например, для создания систем связи специального назначения). Однако ее с успехом можно применять для весьма широкого круга

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		37

задач, в том числе – для создания высокочастотного контрольно-измерительного оборудования.

По сути, программно определяемое радио (*SDR*) – это любое устройство передачи данных, в котором некоторые или все функции физического уровня являются программно определяемыми. В качестве примера можно привести современные смартфоны, поскольку если не вся, то большая часть обработки информационного сигнала производится в сигнальном процессоре (*DSP*). Благодаря программной настройке один приёмопередатчик может быть приспособлен под множество различных форм сигнала. Такое устройство является основой для построения, например, универсально-совместимой национальной общественной системы безопасности.

Технология *SDR* долгое время была привлекательной для производителей, операторов беспроводной связи и военных служб, поскольку одна аппаратная платформа может быть приспособлена к большому количеству форм сигнала, которые добавляются программно в процессе работы. В результате такие аппаратные элементы как фильтры, смесители, усилители, детекторы, модуляторы, и демодуляторы становятся не нужными. В то же время мы получаем многофункциональную платформу, имеющую множество режимов работы и набор диапазонов частот, переключение между которыми осуществляется автоматически и динамически, в т.ч. удалённым способом.

Технология *SDR* (*Software Defined Radio*) позволяет разрабатывать приемопередающую аппаратуру, обеспечивающую поддержку широкого спектра стандартов связи. Перепрограммирование *SDR*-трансивера для его адаптации под другой стандарт связи не влечет за собой изменения в аппаратной части. Отличительными чертами таких устройств являются:

- сверхширокополосная и малошумящая радиочастотная часть, обладающая большим динамическим диапазоном;
- высокоскоростной с большим динамическим диапазоном тракт аналого-цифрового преобразования;

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		38

– обладает большой вычислительной мощностью сигнальный процессор и специализированный цифровой тракт фильтрации.

Использование *SDR* технологии обусловлено тем, что она позволяет принимать и передавать сигналы с использованием разных частот и стандартов, выбор которых зависит от самых различных факторов. Эта технология поддерживается как производителями оборудования, так и поставщиками услуг систем связи и позволяет устранить противоречие между ними: производители используют стандарты, четко описывающие систему и позволяющие им производить крупные партии стандартных устройств, поставщики же не любят эти стандарты, поскольку стандарт делает затруднительным дифференциацию услуг.

*SDR* технология позволяет производить стандартные устройства и делать эти устройства уникальными программным способом. При этом конечный пользователь получает большую «мобильность», благодаря возможности использования мульти стандартных станции, в которых переключение с одного стандарта на другой происходит автоматически, без участия последнего.

Одной из составных частей концепции *SDR* является использование цифровой ПЧ (промежуточной частоты) для обеспечения режимов *Digital IF* на прием и *Direct IF* на передачу, и перепрограммируемых устройств частотной селекции сигнала.

Приемники (как и передатчики) с цифровой ПЧ являются на настоящий момент быстро развивающейся областью, находящей применение в современных базовых станциях 2–3 поколения. Использование цифровой ПЧ стало реальностью благодаря появлению высокоскоростных АЦП и ЦАП с большой разрядностью и высокой линейностью, а также высокопроизводительных устройств цифровой обработки сигналов. Произошедший в последние годы прорыв в технологии производства электронных компонентов и в первую очередь высокоскоростных сигнальных процессоров подстегнул интерес к этой тематике.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		39

Важность использования цифровой ПЧ в идеологии построения приемника тесно связана с удешевлением аналоговой его части. Если параметры цифрового фильтра могут быть улучшены за счет повышения его порядка и разрядности, то для аналогового фильтра ситуация совсем иная. Параметры цифровой фильтрации и гетеродинирования на практике обычно ограничены здравым смыслом разработчика, в то время как для аналоговых устройств ограничения чисто физические, такие как самые разнообразные шумы и нелинейности. Именно этим обусловлено использование нескольких гетеродинов и поэтапной аналоговой фильтрации.

В приемной аппаратуре построение дешевого и малошумящего аналогового тракта возможно только за счет ослабления требований по фильтрации в нем сигнала и обеспечении всей необходимой избирательности в цифровом тракте. С учетом мультистандартного характера проектируемого устройства, которое к тому же может быть многоканальным, использование цифровой ПЧ представляется единственно возможным вариантом обработки принимаемого сигнала.

С передатчиком ситуация обстоит еще интереснее. Поскольку современные системы используют самые разнообразные схемы модуляции, требующие зачастую сложных и высокоточных схем формирования квадратурных компонент сигнала (зачастую многоканальных), сформировать их на нулевой частоте просто не представляется возможным.

*SDR*-плату можно использовать для отладки радиопередатчиков, подслушивания за радионянями и аналоговыми радиотелефонами, для разбора протоколов связи в игрушках на радиоуправлении, радиозвонках, пультов от машин, погодных станций, систем удаленного сбора информации с датчиков, электросчетчиков. С конвертором можно считывать код с простейших 125кГц *RFID* меток. Сигналы можно записывать днями, анализировать и затем повторить в эфир на передающем оборудовании. При необходимости тюнер можно подключить к *Android*-устройству, *RaspberryPi* или другому компактному компьютеру для организации автономного сбора данных из радиоэфира.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		40



Таким образом, использование технологии *SDR* обусловлено тем, что она позволяет обрабатывать и передавать сигналы с использованием разных частот и стандартов, выбор которых зависит от самых различных факторов.

## 2.2 Обобщенная схема *SDR*-приемника

В традиционном супергетеродинном приёмнике обработка сигнала полностью производится электронными схемами, представлена на рисунке 2.2

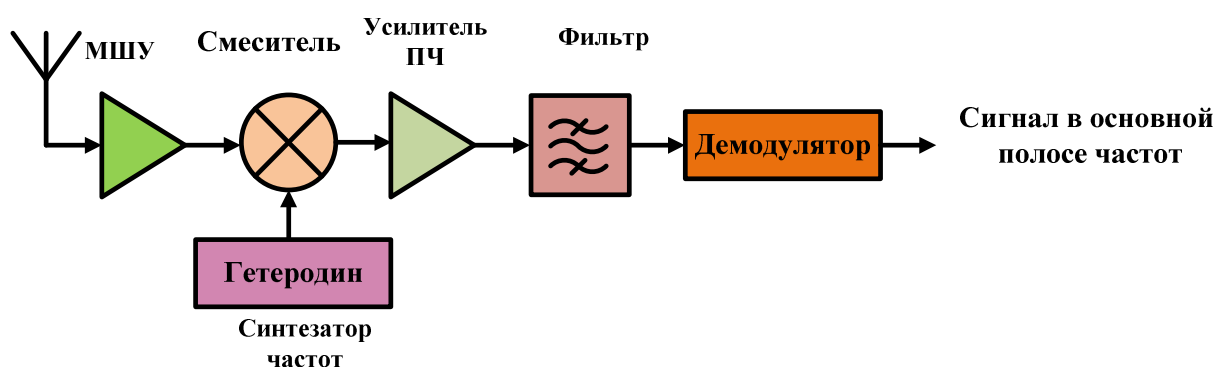


Рисунок 2.2 – структурная схема супергетеродинного приёмника

Частота сигнала понижается до промежуточной частоты (ПЧ), после чего производится обработка.

В первых *SDR*-приёмниках (рисунок 2.3), вместо демодуляторов использовался АЦП.

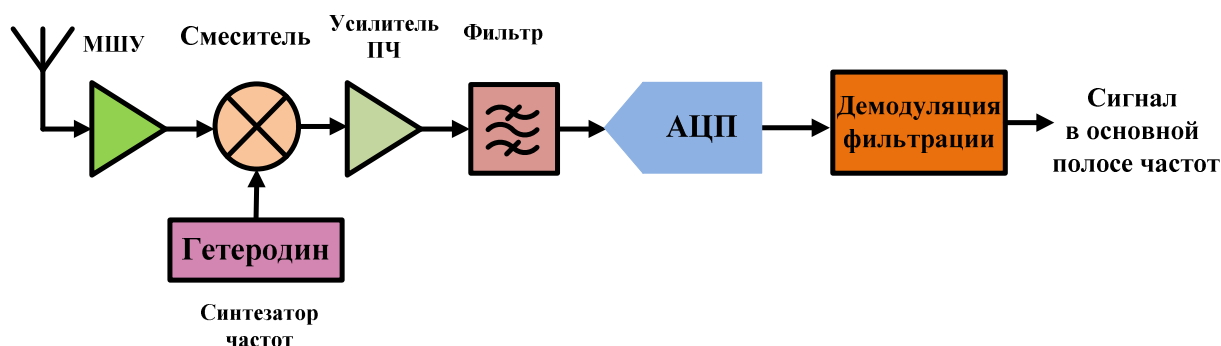


Рисунок 2.3 – структурная схема первого *SDR*

Демодуляция и частично фильтрация сигнала производились в сигнальном процессоре. Современные АЦП намного быстрее, поэтому *DSP* может выполнять больше функций. Для работы *DSP* необходимо знать амплитуду и фазу сигналов. Принятый сигнал разделяется на два компонента: синфазную (*I*) и квадратурную (*Q*), смещённую на  $90^\circ$ .

Схема современного *SDR*-приёмника представлена на рисунке 2.4

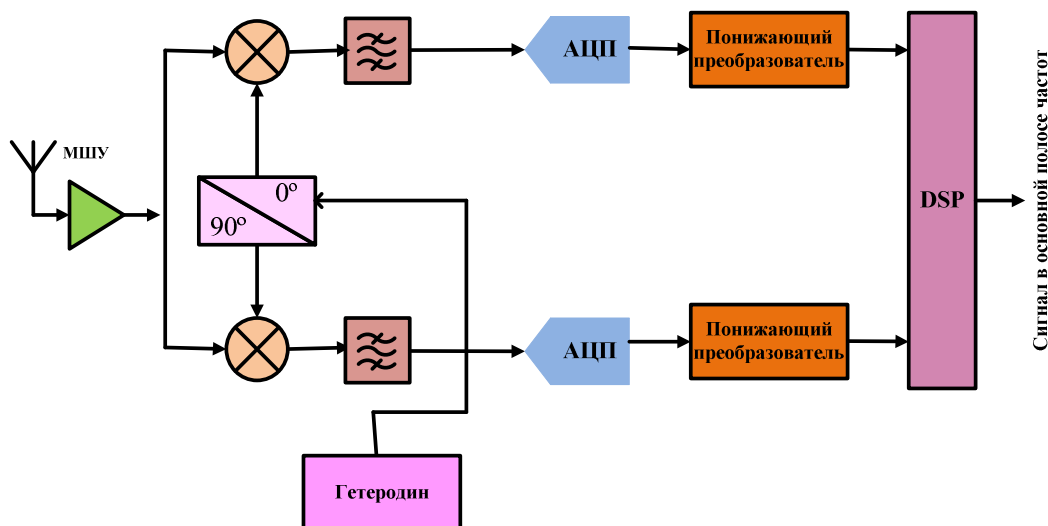


Рисунок 2.4 – современная схема *SDR*-приёмника

Входной сигнал усиливается малошумящим усилителем и делится на компоненты *I* и *Q* путем смешивания с гетеродина из синтеза частот в ФАПЧ (для получения квадратурной компоненты он смещается на  $90^\circ$ ). Частота гетеродина подстраивается пол частоту сигнала, чтобы разность выходных сигналов смесителей была равна нулю в отсутствии модуляции. Для модулированного сигнала она равна сигналу основной полосы или исходному модулированному сигналу. Эта архитектура получила название прямое преобразование или преобразование с нулевой промежуточной частотой.

После фильтрации сигналов основной полосы в ФНЧ оцифровываются в паре АЦП. Далее в цифровом преобразователе частота сигнала понижается до рабочего диапазона сигнального процесса.

В современных передатчиках *DSP*-модулятор разделяет передаваемые данные на *I* и *Q* и передает их на повышающий преобразователь (рисунок 2.5) и ЦАП.

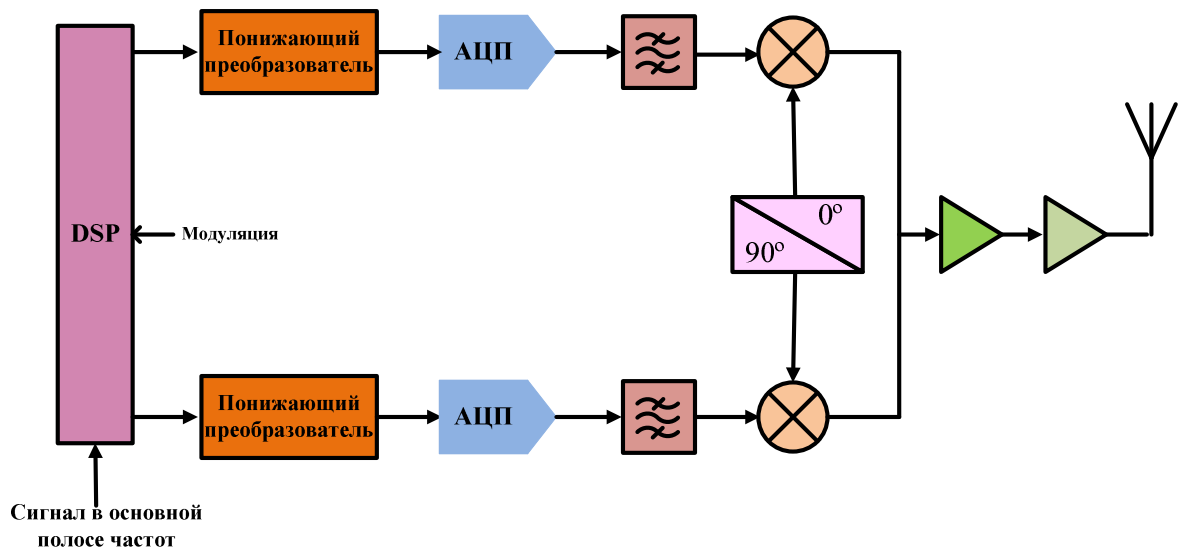


Рисунок 2.5 – схема современного *SDR*-передатчика

Сигнал фильтруется и поступает в смеситель для повышения частоты до частоты передачи. Затем сигнал проходит через усилитель и подаётся на антенну. По мере увеличения быстродействия преобразователей схема упрощается. Самые последние модели представляют собой фильтр, и МШУ, представленные на рисунке 2.6.

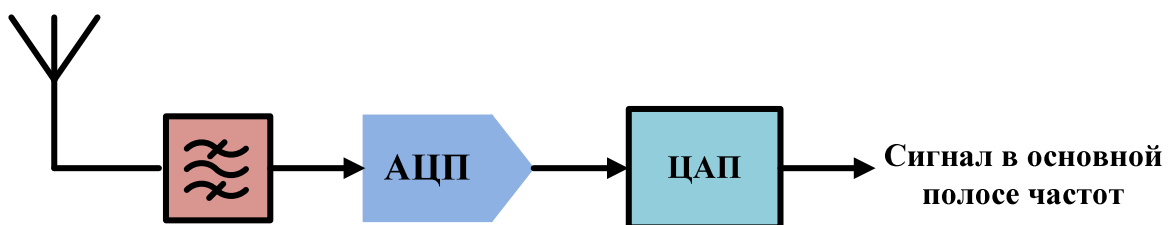


Рисунок 2.6 – самая простая аппаратная реализация *SDR*

Цифровым методом выполняются следующие функции: фильтрация (НЧ, ВЧ, полосовые и заграждающие фильтры), модуляция (*AM*, *FM*, *PM*, *FSKM*,

*BPSK, QPSK, QAM, OFDM*, др.), демодуляция, выравнивание, сжатие и восстановление, анализ спектра, предсказание.

Новые типы модуляции и связанные с ними процедуры, имеют общий термин «форма сигнала». Изменив программное обеспечение, радио перенастраивается на другую частоту и протокол передачи.

Достоинство *SDR* заключается в простоте аппаратной части. Стандартные радиочастотные схемы сокращаются до минимума, их стоимость снижается. Сигнальный процессор берёт на себя большую часть функций, которые раньше выполнялись в аналоговых схемах. Этот подход очень удачен, учитывая гибкость программной реализации и возможность компенсации некоторых нежелательных эффектов, которые возникают в аппаратной части. Более того, программная реализация позволяет устранять неисправности, изменять и дополнять функционал устройства и улучшать его характеристики с минимальными затратами. В частности *SDR* позволяет быстро добавлять новые типы модуляции, протоколы передачи и т.д. в случае аппаратной реализации это потребовало бы изготовление новой схемы.

Недостатки традиционного аналогового приемника:

1. требуется точная настройка;
2. чувствительный к температуре и разбросу параметров компонентов;
3. нелинейные искажения;
4. сложно строить перестраиваемые фильтры и фильтры с подавлением более 60ДБ.

Достоинства *SDR* приемника:

1. не требует настройки; низкая чувствительность к температуре и разбросу параметров компонентов;
2. простая реализация перестраиваемых фильтров с подавлением более 100Дб;
3. высокая точность и широкий диапазон перестройки фазы и частоты гетеродина.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		44

## 2.3 Использование технологии *SDR* для мониторинга радиосети

Суть технологии *Software Defined Radio* заключается в том, что базовые параметры приёмопередающего устройства определяется именно программным обеспечением, а не аппаратной конфигурацией, как мы привыкли видеть в классических конструкциях. Таким образом, это словосочетание можно перевести, к примеру, как «радио, определяемое программным обеспечением», но можно пойти дальше и сократить до двух слов: «программное радио». Благодаря программной настройке один приёмопередатчик может быть приспособлен под множество различных форм сигнала.

Для анализа в работе применяется программа *SDR Sharp*, обладающая широким набором функций:

- программа обрабатывает сигнал,
- перестраивает приемник по диапазону,
- моделирует необходимые фильтры,
- имеет панорамный индикатор, отображающий спектрограмму (на котором видно обстановку в эфире),
- измеряет уровни сигнала.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		45

## 3 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ SDR ПРИЁМНИКА

### 3.1 Структурная схема аппаратной части сканирующего SDR приёмника.

Рассмотрим кратко вопрос о реализации аналогового тракта широкодиапазонного и широкополосного разведывательного приёмника, решающего задачи обнаружения, анализа, демодуляции и регистрации сигналов. Разработка любого радиоприёмного устройства, способного решить поставленные задачи, начинается с определения его структуры и требуемых параметров. Огромную роль при разработке играет доступная элементная база. Помимо достижения высоких параметров приёмного тракта необходимо грамотно решить задачу стыковки линейного и цифрового приёмников (SDR - Soft Defined Radio). Понятно, что передовые технологические решения требуют расширения полосы тракта промежуточной частоты до 20, 40 и более МГц, а современные разработчики предоставляют возможности быстрых 16 разрядных АЦП. Линейная часть сужается, но при этом возникает целый ряд трудно разрешаемых задач, связанных с уменьшением усиления в тракте при сохранении архитектуры приёмника. Выбирая архитектуру приёмника, остановимся на современной схеме SDR приёмника. В нашем случае полоса приёмника составляет 20 МГц.

Схема аппаратной части содержит:

- Входные фильтры;
- МШУ (малошумящий усилитель);
- Смеситель;
- Фазовращатель;
- Гетеродин;
- ФНЧ (фильтр низких частот).

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		46

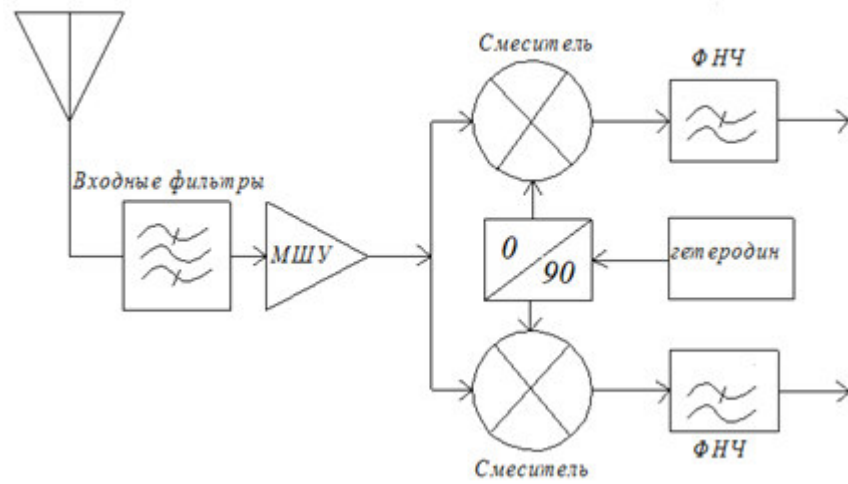


Рисунок 3.1 – Схема аппаратной части сканирующего SDR приёмника

После ФНЧ сигнал поступает на АЦП. Проблемой является соединение линейного тракта приёмника с входом АЦП.

Характеристики АЦП, предполагаемого к использованию:

- максимальный уровень сигнала на входе 1 В (p-p, или полный размах);
- число разрядов  $n$  – 12, 14, 16;
- тактовая частота, или скорость выборки  $F_{\text{sample}}$  200 МГц.



Рисунок 3.2 - Диаграмма уровней мощности в приёмнике

### 3.2 Расчёт основных параметров линейного тракта приёмника

К основным параметрам линейного тракта приёмника при заданной полосе тракта и выбранном АЦП на входе цифрового приёмника относятся:

- коэффициент усиления  $G_{пр}$ ;
- чувствительность приёмника, или минимально-детектируемый сигнал MDS;
- коэффициент шума  $NF_{пр}$ ;
- динамический диапазон  $DR_{пр}$ .

Динамический диапазон можно определить разными способами, определим для начала динамический диапазон, как отношение мощности сигнала  $P_{1dB}$  по выходу при сжатии на 1 дБ к MDS:

$$DR = P_{1dB} - MDS \quad (3.1)$$

Чувствительность приёмника, или MDS, зависит от полосы сигнала и коэффициента шума приёмника  $NF_{пр}$ . Все расчёты далее можно произвести, воспользовавшись диаграммой уровней сигнала в приёмнике (рис. 3.2) и сопровождающими формулами. Воспользовавшись выражением для минимально-детектируемого сигнала:

$$MDS = -174 \text{dB/Hz} + 10 \lg B + NF_{пр}; \quad (3.2)$$

и теоретическим значением отношения сигнал/шум для АЦП:

$$SNR = 6,02n + 1,76 \text{dB} + 10 \lg F_s/2B \quad (3.3)$$

где  $n$  – число разрядов,

$F_s$  – частота выборки,

$B$  – полоса сигнала.

Учитывая шумы квантования  $N_q$ , получаем общее выражение для расчёта требуемого усиления линейного тракта  $G$ :

$$-174 \text{dB/Hz} + 10 \lg B + NF_{пр} + 6,02n + 1,76 \text{dB} + 10 \lg F_s/2B - N_q + G = 10 \text{дБм} \quad (3.4)$$

или, требуемый коэффициент усиления равен:

$$G = 174 \text{dB/Hz} - 10 \lg B - NF_{пр} - 6,02n - 1,76 \text{dB} - 10 \lg F_s/2B + N_q + 10 \text{дБм}. \quad (3.5)$$

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		48



Реально достижимая величина коэффициента шума приёмника  $N_{Fпр}$  составляет величину 6 - 15 dB, причём с ростом частоты растёт и коэффициент шума. Возьмём для расчётов среднюю величину  $N_{Fпр}=10$  dB. Шум квантования обычно принимают равным 6,5 dB, а частоту выборки - выбранной по Найквисту. Расчёты по формуле (3.5) представлены в таблице 3.1 для различной разрядности АЦП. Мною был выбран 12 битный АЦП ADS4229 компании производителя Texas Instruments с быстродействием 250 миллионов выборок в секунду.

**Таблица 3.1 - Расчёты требуемого коэффициента усиления**

Число разрядов АЦП, n	Коэффициент усиления G (полоса тракта 20 МГц), дБ
12	38
14	26
16	14

### 3.3 Подбор элементов линейного тракта

В начале, определимся с диапазоном частот проектируемого приёмника. Охват большего диапазона частот является главной задачей программно-определяемого радио. Эта система позволяет иметь большое количество режимов работы и набор диапазонов частот, переключение между которыми осуществляется автоматически и динамически или удалённым способом.

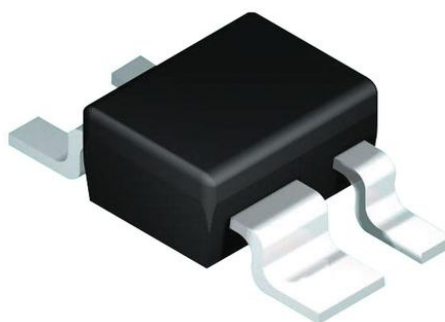
В результате анализа существующей элементной базы мной был выбран диапазон 30-5800 МГц, охватывающий большой диапазон радиовещания, телевиденья и сотовой связи, таких стандартов, как GSM, UMTS, LTE.

Чувствительность РПУ определяется прежде всего входным усилителем, поэтому он должен быть малозумящим, то есть иметь низкий коэффициент шума. Кроме того, быть широкополосным, то есть его усиление должно быть

достаточным во всём диапазоне частот приёмника, а также иметь хорошие линейность и динамический диапазон.

Проведённый анализ показал, что вполне приемлемым по данным параметрам является усилитель типа WR-LNA производства компании WiNRADiO. Его краткие характеристики приведены ниже:

- коэффициент шума NF – 1.7 дБ на частоте 500 МГц;
- коэффициент усиления 27 дБ на 500 МГц;
- рабочая температура от -40 до +60 С<sub>0</sub>;
- мощность на выходе при сжатии на 1 dB P<sub>1dB</sub> = 22 дБм;
- точка IP<sub>3</sub> = 30 дБм



**Рисунок 3.3 - WR-LNA-3500**

### **3.3.1 Разработка системы фильтров**

Система фильтров, разбивает диапазон частот на поддиапазоны для того, чтобы обеспечить линейные динамические характеристики. Покупные системы такого типа чрезвычайно дороги, практически недоступны и по параметрам не удовлетворяют предъявленным требованиям. Разработанная нами система содержит 15 фильтров, систему коммутаторов и обеспечивает предварительную селекцию сигналов во всём диапазоне частот, вплоть до 5,8 ГГц.

Устройства на ПАВ нашли применение в разнообразных радиоэлектронных системах, в частности в РЛС, в системах связи и радиовещания. Чаще всего такие устройства осуществляют процедуру линейной обработки сигналов, т.е. создают выходную реакцию, которая связана с входным

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		50

сигналом с помощью заданного линейного соотношения. В теории систем такие устройства называют линейными фильтрами. Примерами служат линии задержки, полосовые фильтры, фильтры для корреляционной обработки сложных сигналов. Характеристики устройств на ПАВ определяются свойствами материала подложки и его топологией, т.е. типом, количеством, взаимным расположением и геометрическими размерами преобразователей и отражателей ПАВ.

Топология устройства зависит не только от выполняемой операции обработки сигнала, но и от требуемых технических характеристик. Число различных вариантов топологий современных устройств на ПАВ исчисляется сотнями.

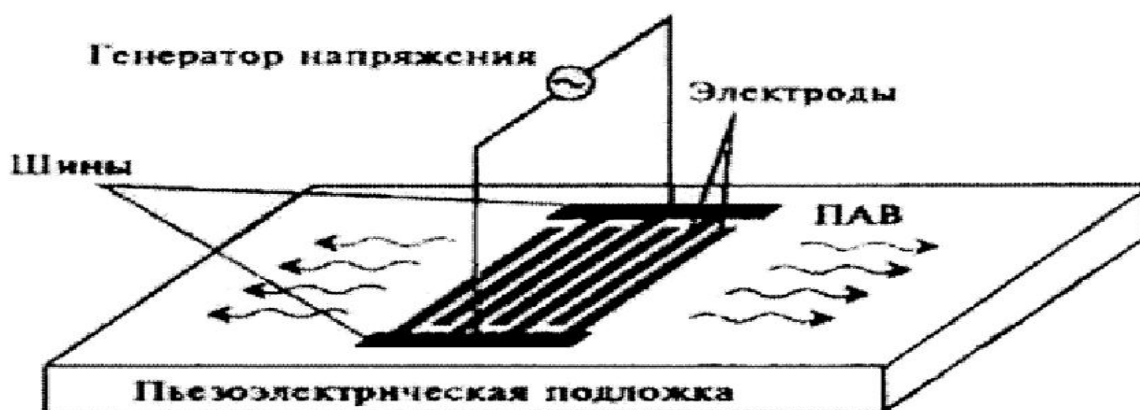


Рисунок 3.4 - Устройство на ПАВ

Фильтр на поверхностных акустических волнах (ПАВ) (рис. 3.4) является твердотельным функциональным устройством и представляет собой подложку из пьезоэлектрика 1, на поверхность которой методом фотолитографии наносятся системы токопроводящих элементов.

Одна из таких систем – излучающий преобразователь ПАВ 2 – подключается к источнику входного сигнала, другая – приемный преобразователь ПАВ 3 – к нагрузке.

Под действием высокочастотного электрического напряжения источника сигнала в зазорах между смежными электродами излучающего преобразователя возникает переменное электрическое поле, которое вследствие пьезоэффекта

материала подложки вызывает механические колебания в ее поверхностном слое. Эти колебания распространяются в тонком приповерхностном слое подложки в направлениях, перпендикулярных электродам в виде поверхностных акустических волн.

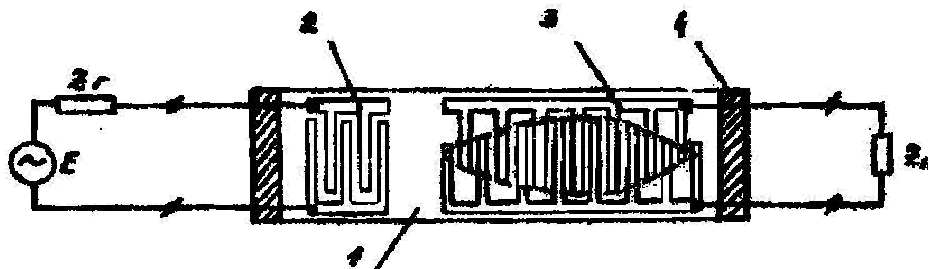


Рисунок 3.5 - Схема включения фильтра на поверхностных акустических волнах

Между смежными электродами приемного преобразователя вследствие обратного пьезоэффекта механические колебания ПАВ обуславливают появление электрического напряжения, которое и является выходным сигналом.

С целью устранения нежелательных отражений ПАВ от торцов подложки, а также с целью ослабления других типов акустических волн, которые могут быть возбуждены излучающим преобразователем ПАВ, все нерабочие грани и ее торцы покрываются специальным звукопоглощающим покрытием 4.

Для уменьшения вносимого затухания фильтра часто применяют специальные согласующие цепи, которые включаются между источником сигнала и излучающим преобразователем, а также между приемным преобразователем и нагрузкой (на рис 3.5 согласующие цепи не показаны).

Подложка с преобразователями и согласующие цепи при необходимости помещаются в общий корпус, в качестве которого обычно используется один из унифицированных корпусов микросхем. Характеристики фильтра на ПАВ в основном определяются частотно-избирательными процессами преобразования электрического сигнала в акустические волны и обратно, т.е. зависят от топологии преобразователей ПАВ, а именно: от количества, геометрических размеров и взаимного расположения электродов в преобразователе, от протяженности зон перекрытия смежных электродов (протяженности зазоров), от очередности подсоединения электродов к общим суммирующим шинам.

**Таблица 3.2- Соответствие диапазонов с частотой**

Диапазон	Нижняя частота, MHz	Верхняя частота, MHz
1	20	40
2	40	80
3	80	130
4	130	220
5	220	350
6	350	610
7	610	1040
8	1040	1350
9	1350	1800
10	1800	2400
11	2400	3000
12	3000	3600
13	3600	4100
14	4100	4900
15	4900	5800

Выбор конкретных значений частоты обусловлен также наличием фильтров ПАВ на эти значения частоты. Практически во всех современных приёмниках используются фильтры ПАВ как самые технологичные и имеющие стабильные повторяющиеся характеристики. Однако широкополосные фильтры ПАВ имеют значительные потери. В то же время пока альтернативы этим фильтрам не видно.

Расчет параметров топологии фильтра для 7 диапазона

Исходные данные:

- центральная частота  $f_0 = 825 \times 10^6$  Гц;
- относительная полоса пропускания  $\Delta f / f_0 = 0,52$  %;
- число лепестков импульсного отклика  $m = 4$ ;

– функция аподизации  $\omega(n) = 0,04 + 0,96 \cdot \cos \frac{\pi n}{2(N+1)}$  (3.6)

1. Материал звукопровода – ниобат лития  $\text{LiNbO}_3$ , ориентация среза  $41,5^\circ \text{X}$  со скоростью распространения волны  $v = 4 \cdot 10^3$  м/с. Класс обработки звукопровода – V13.

2. Структурная схема фильтра – входной преобразователь эквидистантный неаподизованный, выходной – неэквидистантный аподизованный.

3. а) расчет топологии входного преобразователя (эквидистантного неаподизованного).

Определяем количество пар  $N$  электродов

$$N = \frac{f_0}{\Delta f} \quad (3.7)$$

$$f_0 - \text{центральная частота, а } \Delta f = f_v - f_n \quad (3.8)$$

где  $f_v$  - верхняя граничная частота (для нашего фильтра  $f_v = 1040 \cdot 10^6$  Гц),  $f_n$  - нижняя граничная частота (в нашем случае  $f_n = 610 \cdot 10^6$  Гц).

$$\Delta f = 1040 \cdot 10^6 - 610 \cdot 10^6 = 430 \cdot 10^6 \text{ Гц};$$

$$N = \frac{825 \cdot 10^6}{430 \cdot 10^6} \approx 2 \text{ пары}$$

Определяем расстояние  $h$  между соседними электродами

$$h = \frac{\lambda}{2}, \quad (3.9)$$

где  $\lambda = \frac{v}{f_0}$  – длина волны.

$$\lambda = \frac{v}{f_0} = \frac{4 \cdot 10^3}{825 \cdot 10^6} = 4,8 \cdot 10^{-6} = 4,8 \text{ мкм}$$

$$h = \frac{\lambda}{2} = \frac{4,8 \cdot 10^{-6}}{2} = 2,4 \cdot 10^{-6} = 2,4 \text{ мкм}$$

Рассчитываем толщину электродов по формуле

$$d = \frac{\lambda}{4} = \frac{4,8 \cdot 10^{-6}}{4} = 1,2 \cdot 10^{-6} = 1,2 \text{ мкм} \quad (3.10)$$

Находим апертуру (степень перекрытия) электродов

$$W = (10 \dots 200)\lambda$$

Для данного проектируемого фильтра выбираем

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		54

$$W = 20\lambda = 20 * 4,8 * 10^{-6} = 96 * 10^{-6} = 96 \text{ мкм};$$

б) расчет топологии выходного преобразователя (неэквидистантного аподизованного). Определяем количество пар  $N$  электродов

$$N = (m+1) \frac{f_0}{\Delta f}, \quad (3.11)$$

где  $m$  – число лепестков импульсного отклика.

$$N = (4+1) \frac{825 * 10^6}{430 * 10^6}, = 10.$$

Определяем расстояние  $h$  между соседними электродами по формуле

$$h(n) = v \frac{f_B t_3}{2\Delta f} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4n \Delta f}{f_B^2 t_3}} \right] \quad (3.12)$$

где  $t_3 = \frac{L_1}{v}$  – время задержки, где  $L_1 = 8 \dots 10$  мм – расстояние между преобразователями,  $n = 1, 2, \dots, N$  – количество пар электродов.

$$t_3 = \frac{10 * 10^{-3}}{4 * 10^3} = 2,5 * 10^{-6} = 2,5 \text{ мкс.}$$

Получаем, что

$$h(n) = 4 * 10^{-3} * \frac{800,7 * 10^{-3} * 2 * 10^{-6}}{2 * 1,4 * 10^6} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 * n * 430 * 10^6}{(1040 * 10^6)^2 * 2,5 * 10^{-6}}} \right] \quad (3.13)$$

**Таблица 3.3 – Расстояние между соседними электродами**

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h, мкм	38	76	114	152	190	229	267	305	343	382

Рассчитываем толщину электродов по формуле

$$d = \frac{\lambda}{4} = \frac{5 * 10^{-6}}{4} = 1,25 * 10^{-6} = 1,25 \text{ мкм.}$$

Находим координаты краев электродов ВШП по оси  $Y$ :

$$Y(n) = \frac{W_0}{2} [1 - (-1)^n \Phi(n)], \quad (3.14)$$

где  $W_0$  – апертура входного преобразователя,  $n = -N \dots +N$ , а  $\Phi(n)$  имеет вид

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		55

$$\Phi(n) = \frac{\sin\left(\frac{\pi n}{N+1}\right)}{\frac{\pi n}{N+1}} \omega(n), \quad (3.15)$$

где  $\omega(n)$  – передаточная функция (функция аподизации).

В нашем случае  $\omega(n) = 0,04 + 0,96 \cdot \cos\left(\frac{\pi n}{2(N+1)}\right)$ . Следовательно,

$$\Phi(n) = \frac{\sin\left(\frac{\pi n}{10+1}\right)}{\frac{\pi n}{10+1}} \left[0,04 + 0,96 \cdot \cos\left(\frac{\pi n}{2(10+1)}\right)\right].$$

Получаем, что

$$Y(n) = \frac{96 \cdot 10^{-6}}{2} \left[1 - (-1)^n \frac{\sin\left(\frac{\pi n}{10+1}\right)}{\frac{\pi n}{10+1}} \left[0,04 + 0,96 \cdot \cos\left(\frac{\pi n}{2(10+1)}\right)\right]\right]$$

**Таблица 3.4 - Координаты краев электродов ВШП**

n	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
Y(n)	471	511	410	603	295	734	146	867	43	948
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y(n)	948	43	867	146	734	295	603	410	511	471

При  $n = 0$  длина электрода равна  $(10 \dots 200) \cdot \lambda$ . Конец этого электрода будет являться началом системы координат  $Y(n)$ ;

б) определение габаритных размеров проектируемого фильтра.

Определяем длину звукопровода по формуле:

$$L_d = L_{вх} + L_{вых} + L_1 + L_2, \quad (3.16)$$

Где  $L_{вх} = h_{вх} (2N_{вх} - 1) + d_{вх}$  – длина входного преобразователя;

$$L_{вых} = \sum_{n=1}^N (2h_{вых_n}) + d_{вых}, \quad (3.17)$$

где  $L_{вых}$  – длина входного преобразователя;

$L_1 = 8 \dots 10$  мм – расстояние между преобразователями;



$L_2 = 5 \dots 10$  мм – расстояние между крайним электродом преобразователя и торцевой гранью звукопровода

$$L_{\text{вх}} = 2,4 * 10^{-6} * (2 * 10 - 1) + 1,2 * 10^{-6} = 0,0468 * 10^{-3} \text{ м};$$

$$L_{\text{вых}} = \sum_{n=1}^{10} (2h_{\text{вых}_n}) + 1,2 * 10^{-6} = 4,1 * 10^{-3} \text{ м};$$

$$L_{\text{д}} = 0,0468 * 10^{-3} + 4,1 * 10^{-3} + 10 * 10^{-3} + 2 * 5 * 10^{-3} = 24,19 * 10^{-3} \text{ м.} \approx \approx 24,19 \text{ мм.}$$

Ширина звукопровода фильтра

$$L_{\text{ш}} = W_{\text{вх}} + 2(L_3 + L_4),$$

где  $L_3 = 5 \dots 10$  мм – расстояние между общей шиной решетки преобразователя и продольной гранью звукопровода;  $L_4 = 2d$  – ширина общей шины решетки преобразователя.

$$L_{\text{ш}} = 96 * 10^{-6} + 2 * (5 * 10^{-3} + 2,4 * 10^{-6}) = 10,1 * 10^{-3} \text{ м} \approx 10,1 \text{ мм.}$$

Толщина звукопровода выбирается около  $20\lambda$  для уменьшения влияния объемных волн. В нашем случае толщина звукопровода составляет 1,5 мм.

Описание конструкции проектируемого фильтра:

Фильтр содержит один входной преобразователь и один выходной. Входной преобразователь – эквидистантный неаподизованный широкополосный, число пар штырей – 2. Выходной преобразователь – неэквидистантный аподизованный с числом пар штырей – 10.

Материалом для звукопровода проектируемого фильтра на ПАВ является ниобат лития с ориентацией ZY. Класс обработки звукопровода – V13.

Размеры подложки  $24,19 \times 10,1 \times 1,5$  мм

### 3.3.2 Выбор смесителей

В данное время существует большой выбор элементной базы смесителя разных типов. Смесители бывают трёх типов:

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		57

1. Single-Device Mixer (смеситель на одном нелинейном элементе, диод, транзистор): является наименее эффективным, так как добавляет в обрабатываемый сигнал шумы гетеродина, и поэтому всегда требует наличия фильтра;

2. Single-Balanced Mixer (балансным смеситель): позволяет решить проблемы смесителя на одном компоненте, имея балансную схему включения двух таких смесителей;

3. Double-Balanced Mixer (кольцевой балансный смеситель): обладает наибольшими потерями преобразования (наименьшим усилением) и меньшей верхней частотой по сравнению с обычным балансным смесителем, но даёт более широкую полосу пропускания.

Основные преимущества балансных схем перед однокомпонентными устройствами:

- Подавление паразитных и интермодуляционных продуктов;
- Наилучшая изоляция сигналов между высокочастотным входом, входом гетеродина и выходным сигналом;
- Подавление амплитудных шумов гетеродина;

Лучшим является кольцевой балансный смеситель, из-за своих хороших показателей по динамическому диапазону. Динамический диапазон это одна из наиболее важных технических характеристик смесителя. Значительный рост числа используемых передатчиков и наличие источников помех означает, что современные радиоприёмники, как правило, работают в жёстких условиях помех. Выбираем смеситель производства компании Linear Technology высоколинейный смеситель LTC5510 для систем с преобразованием частоты вверх и вниз.

**Таблица 3.5 – Характеристики смесителя**

Параметр	Значение
Диапазон частот	0-6000 МГц
Потери преобразования	1.5 дБ

### Окончание таблицы 3.5

Коэффициент шума	7.25 дБ
IPЗ	25 дБм
Максимальный входной уровень сигнала	15дБм
Минимальный уровень сигнала гетеродина	-6 дБм
Максимальный входной уровень сигнала гетеродина	10 дБм
Напряжения питания	5 В

### 3.3.3 Выбор гетеродина

Наиболее оптимальный вариант, на мой взгляд, это синтезатор прямого синтеза (DDS). Он прост по конструкции, содержит минимум элементов и практически не требует настройки. В качестве основы синтезатора я выбрал микросхему AD9951 фирмы «Analog devices». Она способна работать с тактовой частотой до 400 МГц, что теоретически позволяет формировать сигнал с частотой до 200 мГц. В данной конструкции максимальная частота гетеродина 130 мГц. В общем, AD9951 - это разумный компромисс между ценой, простотой реализации и качеством работы.

Характеристики AD9951:

- частота внутреннего тактового сигнала 400 МГц;
- интегрированный 14-разрядный ЦАП;
- разрядность слова настройки частоты 32 бита;
- фазовый шум  $\leq -120$  дБн/Гц при отстройке 1 кГц (на выходе ЦАП);
- превосходные динамические показатели  $>80$  дБ при частоте выходного сигнала 160 МГц (отстройка  $\pm 100$  кГц) АOUT;
- последовательный порт ввода/вывода;

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		59

- напряжение питания 1.8 В;
- программно и аппаратно управляемый режим пониженного энергопотребления;
- 48-выводный корпус TQFP/EP;
- поддержка 5-вольтовых входных сигналов на большинстве цифровых входов;
- умножитель частоты REFCLK на основе схемы ФАПЧ (коэффициент умножения от 4× до 20×);

### 3.3.4 Выбор переключателей и аттенюатора

Выбраны высокочастотные переключатели компании MACOM. Переключатель типа MASW-000932 делит весь частотный диапазон на два поддиапазона: от 30 до 3500 МГц и от 3500 до 5800 МГц. Он отличается высокой линейностью, отличной изоляцией и соотношением потерь.

Дальше каждый поддиапазон разбивается на 15 диапазонов переключателем MASW-010351-TR3000.

Далее по тракту, после фильтров и переключателя включён аттенюатор с цифровым управлением от 0 до 31.5 дБ через 0.5 дБ. Аттенюатор управляется программно и служит для ограничения мощных сигналов, выравнивания АЧХ и регулировки усиления в приёмнике в целом. Тип аттенюатора HMC542BLP4E компании Analog Device.

Краткие характеристики переключателей и аттенюатора представлены ниже в таблицах 3.5, 3.6 и 3.7.

**Таблица 3.6 – Характеристики MASW-010351-TR3000**

Параметр	Значение
Диапазон частот	0-6000 МГц
Вносимые потери	0.6 дБ
IP3	72 дБм
Управляющее напряжение	0-5 В

**Таблица 3.7 – Характеристики НМС542ВLP4Е**

Параметр	Значение
Диапазон частот	0-6000 МГц
Вносимые потери	1 дБ
IPЗ	50 дБм
Управляющее напряжение	5 В
Максимальная рабочая температура	+85 С
Минимальная рабочая температура	-40 С
Параметр	Значение
Диапазон частот	0-6000 МГц
Диапазон регулировки усиления	31.5 дБ
Управляющее напряжение	5 В
Вносимые потери	1.7
IPЗ	50 дБм
Длина шага аттенюатора	0.5 дБ
Управляющее напряжение	0-5 В
Максимальная рабочая температура	+85 С
Минимальная рабочая температура	-40 С

### **3.4 Расчёт коэффициентов усиления и коэффициента шума приемного тракта**

Общий коэффициент усиления приемника равен:

$$K_{\text{пр}} = K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_n, \quad (3.30)$$

где  $K_1, K_2, K_3, K_n$  – коэффициенты усиления отдельных элементов тракта и шума элементов тракта приёма, взяты из технических характеристик элементов и сведены в таблицу 3.8.

**Таблица 3.8 – Характеристики подобранных элементов**

Параметр	K(дБ)	K(разы)	NFпр (дБ)	NFпр (разы)
Входные фильтры	-3.9	0.417	2.8	1.9
МШУ	25	500	1.7	1.47
Аттенюатор	-1.7	0.660	1.5	1.41
Смеситель	-7.1	0.1910	7.25	5.31
ФНЧ	-1.5	0.700	2	1.56

$$K_{пр} = -3.9 + 25 - 1.7 - 7.1 - 1.5 = 10.8$$

Необходимо заметить, что расчёт усиления усилителя типа WR-LNA в среднем равен 12 дБ. Для 12 разрядного АЦП легко добиться требуемого усиления, используя усилитель.

Используя известную формулу общего коэффициента шума нескольких соединённых последовательно каскадов, найдём коэффициент шума приёмного тракта.

$$Ш_{пр} = Ш_1 + Ш_2 - 1/K_1 + Ш_3 - 1/K_1 \cdot K_2 + Ш_4 - 1/K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 + \dots \quad (3.31)$$

$$Ш_{пр} = Ш_1 + \frac{Ш_2 - 1}{K_1} + \frac{Ш_3 - 1}{K_1 \cdot K_2} + \frac{Ш_4 - 1}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3} + \dots$$

$$Ш_{пр} = 3.10$$

$$Ш_{пр} = 10 \log(Ш_{пр}) = 4.9 \text{ дБ}$$

Расчёты коэффициента шума  $Ш_{пр}$  приёмника показывают, что коэффициент шума не превышает 6.5 дБ. Выбор усилителя с параметрами  $P_{1dB} = 12$  дБм и  $IP_3 = 22$  дБм гарантирует высокую динамику радиоприёмного устройства.

Так как мною, был выбран 12 битный АЦП ADS4229 компании производителя Texas Instruments с быстродействием 250 миллионов выборок в секунду. Коэффициент усиления приемного тракта для работы с этим АЦП не должен превышать:

$$G_{max} = 174 \text{ dB/Hz} - 10 \lg B - NF_{пр} - SNR + P_{max}, \quad (3.32)$$

где  $P_{\max}$  – максимальный уровень сигнала на входе АЦП.

При использовании данного АЦП в режиме симметричного входа размах входного напряжения равен 2В (от -1 до 1 В), входное сопротивление составляет 750 Ом.

Исходя из этого:

$$P_{\max} = 10\lg(U^2/R/1\text{мВ}) = 10\lg(12/750/0.001) = 1.25 \text{ дБм} \quad (3.33)$$

$$G_{\max} = 174\text{дВ/Hz} - 10\lg(20 \cdot 106) - 4.9 - 65 + 1.25 = 31.9 \text{ дБ}$$

Тракт приемника, с коэффициентом усиления  $G_{\text{пр}} = 10.8$  дБ (подсчитанный выше), подходит по требованию АЦП к максимальному уровню сигнала на входе.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		63

## 4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 4.1 Планирование работ по исследованию

В основе цели проекта лежит разработка приёмника по технологии. Результатом работы является разработанный прототип прибора или программный продукт, выполняющий определенные функции.

В реализации исследования заняты следующие сотрудники:

- старший научный сотрудник, осуществляющий общий контроль и руководство исследованием;
- младший научный сотрудник, проводящий необходимые расчеты, разработку, исследование, , составляющий техническую документацию на исследование;
- экономист, дающий экономическую оценку исследования.

Расчет сроков проведения и трудоемкости представлен в таблице 10.

**Таблица 4.1 - Планирование работ по исследованию**

Наименование этапов работ	Исполнитель	Трудоемкость, час	Продолжительность, дней
1	2	3	4
<b>1.Подготовительный</b>			
1.1.Нахождение информации	Младший научный сотрудник	40	5
1.2.Разработка идеи	Старший научный сотрудник	80	10
1.3.Подсчитывание объема работ	Младший научный сотрудник	24	3



**Окончание таблицы 4.1**

1.4.Составление исследовательской работы	Младший научный сотрудник	8	1
1.5.Анализ и обработка информации	Младший научный сотрудник	64	8
<b>Итого:</b>		216	27
<b>2.Основной (экономический анализ)</b>			
2.1.Обоснование целесообразности работы	Старший научный сотрудник	24	3
2.2.Выполнение работы	Младший научный сотрудник	80	13
<b>Итого:</b>		104	16
<b>3.Заключительный</b>			
3.1.Технико-экономическое обоснование	Экономист	40	5
3.2.Оформление и утверждение документации	Младший научный сотрудник	40	5
<b>Итого:</b>		80	10

Расчет трудоемкости является результатом планирования исследования по количеству дней и часам. Для проведения исследования определена необходимая численность производственного штата.

## 4.2 Расчет расходов на оплату труда на исследования

В таблице 11 представлен расчет расходов на оплату труда разработки исследования.

Таблица 4.2 - Расчет расходов на оплату труда

Должность Исполнителей	Трудоемкость, час	Оклад, руб
1	2	3
Младший научный сотрудник	256	13000
Старший научный сотрудник	104	16000
Экономист	40	12000
<b>Итого:</b>	400	

По формуле рассчитывается часовая тарифная ставка ( $Ч_{ТС}$ ):

$$Ч_{ТС} = \frac{P}{F_{мес}} \quad (4.1)$$

где  $F_{мес}$  – фонд рабочего времени месяца, составляет 176 часов (22 рабочих дня по 8 часов в день);  $P$  – оклад сотрудника.

Расход на оплату труда ( $P_{ОТ}$ ) находится следующим образом:

$$P_{ОТ} = Ч_{ТС} * T_{сум} \quad (4.2)$$

где  $T_{сум}$  – суммарная трудоемкость каждого из исполнителей.

Результаты расчетов сведены в таблицу 12.

**Таблица 4.3 - Расчет расходов на оплату труда**

<b>Должность Исполнителей</b>	<b>Трудоемкость, час</b>	<b>Оклад, руб</b>	<b>Ч<sub>ТС</sub>, руб/час</b>	<b>Р<sub>от</sub>, руб</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Младший научный сотрудник	256	13000	73,86	18908,16
Старший научный сотрудник	104	16000	90,90	9453,6
Экономист	40	12000	68,18	2727,27
<b>Итого:</b>	400			31089,03

### **4.3 Расчет продолжительности исследования**

Трудоемкость исследования согласно расчетам составила 400 часов.

Продолжительность исследования составит:

$$T_{иссл} = T_{сум} / T_{РД} \quad (4.3)$$

где  $T_{сум} = 400$  часов суммарная трудоемкость исследования

$T_{РД} = 8$  часов – продолжительность рабочего дня

$T_{иссл} = 400/8 = 50$  дней. Протяженность исследования составляет 50 дней, расчет производится без учета выходных и праздничных дней.

### **4.4 Расчет стоимости расходных материалов**

В разделе стоимости расходных материалов подсчитываются расходы на приобретение основных материалов необходимых для проведения исследования, оформления соответствующей документации, а также учитывается стоимость картриджа. Расчет стоимости расходных материалов приведен в таблице 13

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

**Таблица 4.4 – Стоимость расходных материалов**

<b>Наименование расходных материалов</b>	<b>Цена за единицу, руб.</b>	<b>Количество, шт.</b>	<b>Сумма, руб.</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Бумага	125	3	375
Канцтовары	200	-	200
Расходные материалы для принтера (картридж)	3700	-	3700
Ватман	20	10	200
<b>Итого:</b>			<b>4475</b>

Затраты на приобретение расходных материалов потребуются 4475 рублей.

#### **4.5 Расчет сметы расходов на исследование**

Рассчитаем общие расходы на разработку и проведение исследования, с учетом часового тарифной ставки. В данную статью расходов включаются премиальные выплаты, районный коэффициент и страховые взносы. Составляем смету на разработку и проведение исследования для оценки затрат на исследование.

Произведем расчет расходов:

Премиальные выплаты рассчитываются по формуле:

$$ПВ = P_{OT} \cdot K_{ПВ} \quad (4.4)$$

где  $K_{ПВ}$  - коэффициент премиальных выплат, составляет 20 %, в случае если премии не предусмотрены  $K_{ПВ}=1$ .

$$ПВ = 31089,03 \cdot 0,2 = 6217,8 \text{ руб.}$$

Дополнительные затраты на проведение исследования можно определить как::

$$Z_{\text{ДОП}} = P_{\text{ОТ}} K \quad (4.5)$$

где К - коэффициент дополнительных затрат (К=14%).

$$Z_{\text{ДОП}} = P_{\text{ОТ}} \cdot 14 \%$$

$$Z_{\text{ДОП}} = 31089,03 \cdot 0,14 = 4352,46$$

В заработной плате может быть предусмотрен районный коэффициент, которых характеризует доплату при работе в трудных условиях. Величина коэффициента определяется в зависимости от характера производства.

$$PK = P_{\text{ОТ}} K_{\text{РВ}} \quad (4.6)$$

где  $K_{\text{РВ}}$  – коэффициент районных выплат, для примера составляет 15 % от суммы.

$$PK = (31089,03) \cdot 0,15 = 4663,35 \text{ руб.}$$

Общие расходы на оплату труда вычисляются по формуле:

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{ОТ}} + ПВ + PK + Z_{\text{ДОП}} \quad (4.7)$$

где  $P_{\text{ОТ}}$  - основная заработная плата; ПВ - премиальные выплаты;  $Z_{\text{ДОП}}$  - дополнительные затраты; PK - районный коэффициент.

$$\Sigma P_{\text{ОТ}} = 31089,03 + 6217,8 + 4352,46 + 4663,35$$

$$\Sigma P_{\text{ОТ}} = 46322,64 \text{ руб.}$$

Из таблицы 4.4 берется итоговая сумма стоимости расходных материалов по статье расходных материалов.

$$\Sigma P_{\text{РМ}} = 4475 \text{ руб.}$$

Страховые взносы рассчитываются по формуле:

$$CB = P_{\text{ОТ}} 0,3 \quad (4.8)$$

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		69

$$CB = 31089,03 \cdot 0,30 = 9326,7$$

Амортизационные исчисления на использование компьютера вычисляются аналогично выражению (4.8). В данном примере они составляют 25% от стоимости компьютера.

$$AO = C_{ПК} \cdot 0,25 \quad (4.9)$$

$$AO = 35000 \cdot 0,25 = 8750 \text{ руб.}$$

Расходы на использование Интернета берутся из расчета месячной абонентской платы для предприятия. Пусть:  $P_{\text{инт}} = 700$  руб.

Административно-хозяйственные расходы составляют 50% от основной заработной платы ( $P_{\text{от}}$ )

$$P_{\text{АХ}} = P_{\text{от}} \cdot 0,5 \quad (4.10)$$

$$P_{\text{АХ}} = 31089,03 \cdot 0,5 = 15444,51 \text{ руб.}$$

Результаты расчета расходов сведем в таблицу. Смета расходов на разработку и проведение исследования представлена в таблице 14.

**Таблица 4.5 - Смета расходов на разработку и проведение исследования**

Наименование статей расходов	Сумма, руб.	Удельный вес статей, %
1	2	3
1. Стоимость расходных материалов	4475	5,26
2. Расходы на оплату труда	46322,64	
2.1. Основная заработная плата	31089,03	36,56
2.2. Дополнительные затраты	4352,46	5,11
2.3. Премияльные выплаты	6217,8	7,31
2.4. Районный коэффициент	4663,35	5,48
3. Единый социальный налог	9326,7	10,97
4. Амортизационные исчисления на использование компьютера	8750	10,29
5. Расходы на использование Интернет	700	0,82

**Окончание таблицы 4.5**

б.Административно-хозяйственные расходы	15444,51	18,16
<b>Итого:</b>	85018,85	100

Результатом экономической оценки исследования является определение затрат на разработку и реализацию исследования:

- продолжительность исследовательских работ составила 50 дней;
- сметы расходов на исследование – 85019 рублей.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		71

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 5.1 Обзор вредных факторов

В настоящее время персональный компьютер (ПК) является основным рабочим инструментом многих категорий людей. Основной объём информации человек – оператор получает с помощью зрительного анализатора. Представление информации в удобном для восприятия виде осуществляется устройствами отображения. Между тем, согласно результатам исследований, существует ряд причин в результате действий которых, работа с компьютером попадает в разряд потенциально опасных для здоровья.

Работая с ПК, оператор подвергается воздействию следующих психофизических факторов: умственное перенапряжение, перенапряжение слуховых и зрительных анализаторов, эмоциональные перегрузки, монотонность труда. Кроме того, работа операторов связана с воздействием таких опасных и вредных факторов, как повышенный уровень шума, недостаточная освещённость, электромагнитное излучение и повышенная температура внешней среды.

Влияние выше упомянутых факторов приводит к снижению работоспособности человека, вызываемому утомлением. Появление и развитие утомления вызывает изменения в центральной нервной системе человека. В результате длительное нахождение человека в зоне воздействия многих различных и опасных вредных факторов, может привести к профессиональному заболеванию. Множество примеров связи между работой на компьютере и такими недомоганиями, как астенопия (быстрая утомляемость глаз), болезненное поражение срединного нерва запястья (туннельный синдром), тендиниты (воспалительные процессы в тканях сухожилий), стенокардия и продолжительные различные стрессовые состояния, хронические головные боли, головокружения, повышенная возбудимость, головные боли, депрессивное состояние, снижение концентрации внимания, частые нарушения сна, боли шеи и спины (остеохондроз).

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		72



Согласно медицинской статистике, в 80% случаев причиной болей в спине является остеохондроз — дистрофия тканей межпозвонковых дисков, сопровождающаяся ослаблением их амортизирующих свойств. Вследствие обезвоживания и нарушения обмена веществ в хрящевой ткани межпозвонковые диски теряют свою упругость, усыхают, уменьшаются в размерах и, как следствие, не могут эффективно выполнять свои функции. При остеохондрозе ухудшается состояние околопозвоночных мышц и связок, особенно при физических нагрузках. Если здоровый межпозвонковый диск способен выдержать воздействие вертикальной нагрузки, эквивалентной примерно 500 кг, то при остеохондрозе разрыв диска происходит уже при нагрузке порядка 200 кг.

Основным источником проблем, связанных с охраной здоровья людей, использующих в своей работе персональные компьютеры, является дисплей с электронно-лучевыми трубками (ЭЛТ). Они представляют собой источники наиболее вредных излучений, неблагоприятно влияющих на здоровье операторов. Выделяют два наиболее неблагоприятных типа излучений, возникающих при работе монитора: электростатическое излучение и электромагнитное излучение. Первое возникает в результате облучения экрана потоком заряженных частиц. Неприятности, вызванные им, связаны с пылью, накапливающейся на электростатических заряженных экранах, которая летит на пользователя во время его работы за дисплеем. Результаты медицинских исследований показали, что такая электризованная пыль может вызвать воспаление кожи.

Электромагнитное излучение создаётся магнитными катушками отклоняющейся системы, находящейся около цокольной части ЭЛТ. Специальные измерения показали, что невидимые силовые поля появляются даже вокруг головы оператора во время его работы за дисплеем. Частотный спектр излучения монитора характеризуется наличием рентгеновских, ультрафиолетовых, инфракрасных и других электромагнитных колебаний. Опасность рентгеновских и части других излучений большинством ученых

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		73

признаётся пренебрежимо малой, поскольку их уровень достаточно невелик и в основном поглощается покрытием экрана. Наиболее тяжёлая ситуация связана, по-видимому, с полями излучений очень низких частот, которые, как выяснилось, способны вызывать биологические эффекты при воздействии на живые организмы. Было обнаружено, что электромагнитные поля с частотой порядка 60 Гц могут инициировать изменения в клетках животных (вплоть до нарушения синтеза ДНК). Особенно поразительным для исследований оказался факт, что в отличие, например, от рентгеновского излучения, электромагнитные волны обладают непривычным свойством – опасность их воздействия при снижении интенсивности излучения не уменьшается, мало того, некоторые поля действуют на клетки тела только при малых интенсивностях или на конкретных частотах. Согласно одному из объяснений, сформулированных американскими учёными, переменное электромагнитное поле, совершающее колебаний с частотой 60 кГц, вовлекает в аналогичные колебания молекулы любого типа, независимо от того, находятся они в мозге или в теле человека. Результатом этого является изменение активности ферментов и клеточного иммунитета, причём сходные процессы наблюдаются в организмах при возникновении опухолей. Специальные измерения показали, что мониторы действительно излучают магнитные волны, по интенсивности, не уступающие уровням магнитных полей, способных обуславливать возникновение опухолей у людей.

Основным средством защиты от вредного влияния дисплея является защитный экран. Зрение оператора больше всего страдает от излишней яркости монитора, недостаточной контрастности изображения, а также посторонних бликов и рассеивания света на поверхности дисплея. В результате человек за компьютером быстро устаёт, ухудшается внимание, снижается работоспособность.

Защитный экран уменьшает общую яркость монитора, в тоже время детали изображения с малой яркостью остаются хорошо видимыми, так как общая контрастность увеличивается. Краски изображения становятся более сочными, так как пропадает серый фоновый цвет, связанный с рассеиванием света

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		74

эмульсии. Снижается внешняя освещённость экрана монитора, устраняются блики на поверхности дисплея.

Кроме того, экраны сетчатого вида устраняют отражения окружающих предметов и источником света, неизбежно присутствующих на гладкой поверхности экрана и причиняющие неудобство оператору.

Нормировать излучения нужно так, чтобы их вред был минимальным, а условия труда комфортными. Мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 50 см от экрана и корпуса монитора не должен превышать  $7,74 \cdot 10^{-12}$  А/кг, что соответствует эквивалентной дозе 100 мкР/час. Опыт всех измерений показывает, что реально в этой точке фиксируются значения раз в 10 меньше, а на рабочем месте пользователя рентгеновское излучение не отличается от фонового. Электромагнитные поля, генерируемые компьютером, включают широкую полосу частот от нескольких герц до нескольких мегагерц. По мнению специалистов в области электромагнитобиологии и гигиены труда, этот вид излучения может являться ответственным за целый ряд недугов и приводить к функциональным нарушениям в работе пользователя.

## 5.2 Требования к электромагнитному излучению

Санитарные нормы регламентируют излучение только в полосе частот от 5 Гц до 400 кГц. Здесь, как и в некоторых других местах, отечественные санитарные нормы полностью повторяют значения шведских норм MPR 2, разработанных ещё в начале 90-х годов, но до сих пор являющихся недостижимым идеалом для массы пользователей в России. Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений:

- Напряжённость электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора – 10 В/м.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		75

- Напряжённость электромагнитного поля по магнитной составляющей на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора – 0,3 А/м.

- Напряжённость электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более:

в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц – 25 В/м;

в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц – 2,5 В/м;

- Плотность магнитного потока должна быть не более:

в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц – 250 нТл;

диапазоне частот 2 кГц-400 кГц – 25 нТл;

- Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать – 500В.

Отрицательно сказывается на человеческом организме увеличение количества положительно заряженных ионов в воздухе вблизи работающего дисплея. Медицинские исследования показали, что длительное пребывание в деионизированной среде воздействует на метаболизм и приводит к изменению биохимической реакции в крови на клеточном уровне, что нередко заканчивается стрессом.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		76

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной работе рассматривается история, основные особенности и методы построения программно-определяемого радио SDR. Описаны основные архитектуры.

Спроектирован в работе приемник обладает следующими характеристиками:

- диапазон частот 30-5800 МГц;
- полоса пропускания 20 МГц;
- коэффициент шума приемника меньше 6.5 дБ;
- коэффициент усиления приемного тракта 12 дБ;

Нельзя сказать, что технология Software Defined Radio является молодой, поскольку военные уже давно используют ее в своей аппаратуре.

С коммерческой же точки зрения технологию можно считать довольно молодой и быстро развивающейся. Компоненты для цифровой обработки сигналов, аналого-цифрового преобразования совершенствуются и дешевеют с каждым днем, что постоянно приближает выход технологии SDR в массы. Как было показано в работе, сложность конструкции традиционных трансиверов существенно выше, чем у SDR, не говоря уже об отсутствии у первых какой-либо гибкости, так необходимой в современных условиях быстро изменяющихся стандартов. Поэтому тотальный переход к архитектуре SDR неизбежен, это лишь вопрос времени.

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		77

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Афонский А.А. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики/ А.А. Афонский – М.: Солон-пресс, 2009
2. Пронин К. Проектирование, оптимизация и моделирование SDR.//Электронные компоненты.-2012.-№2.-С.49-53.
3. Гасанов О. Принципы построения радиоприемников с цифровой обработкой сигнала// Электронные компоненты.-2010.-№12-С.63-65.
4. Чалил М. Реализация цифрового радио/Электронные компоненты.-2013.-№5.-С.37-41.
5. Логинов Н.А. Актуальные вопросы радиоконтроля в Российской Федерации/Н.А. Логинов. – М.: Радио и связь, 2000.
6. Силин А. Технология Software Defined Radio. Теория, принципы и примеры аппаратных платформ//Беспроводные технологии.-2007.-№2-С.22-27.
7. Форум радиоинженеров, раздел SDR [Электронный ресурс] URL: <http://www.wiressinnovation.org/>. (дата обращения 14.12.16)
8. Четырёхканальный цифровой приемник SDR приемник 1288ХК1Т. [Электронный ресурс] URL: <http://multicore.ru> (дата обращения: 22.12.16)
9. Малошумящий усилитель. [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании URL:<http://www.radioexpert.ru/product/winradio-wr-lna-3500> (дата обращения: 15.12.16)
10. Высоколинейный широкополосный смеситель. [Электронный ресурс] URL: <http://www.linear.com/product/LTC5510> (дата обращения: 16.12.16)
11. Проектирование, оптимизация и моделирование SDR[Электронный ресурс] URL: <http://ns1.ecomp.ru/leader-r/review/2187/doc/59223/> (дата обращения: 22.12.16)

					11070006.11.03.02.497.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		78