

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ И  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

*На правах рукописи*

*УДК 621.391.827*

**Жданов Александр Андреевич**

**Анализ особенностей электромагнитного излучения радиосистем УВЧ и  
СВЧ диапазонов**

**5A311103 - Радиотехнические устройства и средства связи  
Диссертация на соискание академической степени магистра**

**Научный руководитель:**

**Доцент кафедры «Телевидение и радиовещание»**

**Губенко В.А.**

**Ташкент 2013**

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ  
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

Факультет РРТ

Кафедра РТ и РС

Учебный год 2012/2013

Магистрант Жданов А.А.

Научный руководитель Губенко В.А.

Специальность 5А311103 – Устройства  
радиотехники и средств связи

**АННОТАЦИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Используемый современными радиотехническими устройствами и системами частотный спектр крайне широк – от очень высоких до гипервысоких частот. Наиболее сильно востребованы диапазоны ультравысоких и сверхвысоких частот (дециметровые и сантиметровые волны). Практически все системы мобильной связи, беспроводного доступа к сети Интернет, системы цифрового телевидения работают в этих диапазонах. Кроме того, в этих диапазонах функционируют многочисленные электронные приборы, бытового и хозяйственного назначения. Поскольку все эти системы и приборы являются источниками электромагнитного излучения, то крайне важно знать, как сильно они влияют друг на друга и на окружающее пространство. Особенно это важно с точки зрения электромагнитной совместимости.

Это обусловлено тем, что сфера применения радиоустройств и электронных приборов в различных областях человеческой деятельности стремительно расширяется. Насыщенность пространства различными электромагнитными излучениями настолько увеличилась, что, несмотря на все попытки регламентации радиослужб, проводимыми международными и

национальными организациями, уровень помех оказывается столь интенсивным, что заметно ухудшает качество работы радиосистем.

Магистерская диссертация «Анализ особенностей электромагнитного излучения радиосистем УВЧ и СВЧ диапазонов» посвящена изучению особенностей современного частотного спектра, оценке вклада, вносимого в него различными видами радиосистем, устройств и электронных приборов, анализу проблем их электромагнитной совместимости, формулировке предложений по улучшению электромагнитной обстановки в условиях их массового применения.

Результаты исследований обсуждались на семинарах кафедры радиотехнические устройства и системы связи, на Республиканских научно-технических конференциях.

Научный руководитель \_\_\_\_\_

Магистрант \_\_\_\_\_

**STATE COMMITTEE FOR COMMUNICATIONS, INFORMATION  
AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES OF THE REPUBLIC  
UZBEKISTAN**

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGY**

Faculty RRT

Master of Jdanov A.A.

The chair DRE and C

Scientific director of Gubenko V.A.

The academic year 2012/2013

Specialty 5A311103 - Devices Radio  
Engineering and communication

**SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION**

Use of modern radio engineering devices and systems frequency spectrum is very wide - from very high to hyper-high frequency. The strongest demand for ultra-high ranges and ultra-high frequency (UHF and microwaves). Virtually all of the mobile communication system, wireless access to the Internet, digital broadcasting system operating in these ranges. Furthermore, these operating ranges are numerous electronic devices and household goods. Since all of these systems and devices are sources of electromagnetic radiation, it is extremely important to know how much they affect each other and the surrounding area. This is especially important in terms of electromagnetic compatibility.

This is due to the fact that the scope of radio and electronic devices in various fields of human activity is rapidly expanding. Saturation space various electromagnetic emissions increased so that, in spite of all attempts to regulate radio services, conducted by international and national organizations, the noise level is so intense that significantly degrades the performance of radio.

Master's Dissertation "Analysis of the characteristics of the electromagnetic radiation of radio VHF and UHF bands," examines the characteristics of a modern frequency spectrum estimate the contribution made to it by various kinds of radio systems, devices, and electronic devices, the analysis of problems of

electromagnetic compatibility, the formulation of proposals to improve the electromagnetic environment in terms of their mass application.

The research results were discussed at the seminar of the wireless devices and communication systems on the Republican scientific-technical conferences.

Scientific director of \_\_\_\_\_

Master of \_\_\_\_\_

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение.....</b>	<b>6</b>
<b>Глава I. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ УВЧ И СВЧ ДИАПАЗОНОВ.....</b>	<b>5</b>
1. Радиоизлучение систем цифрового телевидения стандарта DVB.....	5
2. Радиоизлучение систем мобильной связи.....	14
3. Радиоизлучение систем и устройств ISM-диапазона.....	18
<b>Выводы к главе I.....</b>	<b>22</b>
<b>Глава II. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ПО РАДИОКАНАЛАМ.....</b>	<b>23</b>
1. Особенности распространения сигналов в различных средах.....	23
2. Факторы, влияющие на качество передачи радиосигналов.....	29
3. Угрозы безопасности и режимам работы радиосистем.....	33
<b>Выводы к главе II.....</b>	<b>45</b>
<b>Глава III. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ РАДИОСИСТЕМ УВЧ И СВЧ ДИАПАЗОНОВ.....</b>	<b>46</b>
1. Проблемы взаимного влияния радиоустройств.....	46
2. Способы выявления источников радиоизлучения.....	49
3. Методы повышения помехозащищенности и электромагнитной совместимости радиосистем и радиоустройств.....	63
<b>Выводы к главе III.....</b>	<b>67</b>
<b>Заключение.....</b>	<b>68</b>
<b>Список литературы.....</b>	<b>69</b>

## Введение

**Обоснование темы диссертации и актуальность.** В Республике Узбекистан создана современная и мощная законодательная база в сфере инфокоммуникационных технологий [1-4]. В республике предусмотрены проведение модернизации, технического и технологического перевооружения предприятий, широкое внедрение современных гибких технологий. Ставится задача ускорения реализации принятых отраслевых программ модернизации, технического и технологического перевооружения производства [7]. Одной из важнейших задач, которая стоит перед нашим обществом, является обеспечение поступательного и устойчивого развития страны [8]. В Постановлении Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационных технологий» принята «Программа дальнейшего внедрения и развития информационно-коммуникационных технологий в Республики Узбекистан на 2013-2014 годы», в которой большое внимание уделяется развитию инфраструктуры информационно-коммуникационных технологий, в частности, разработке и реализации технических проектов, направленных на обеспечение предоставления населению услуг широкополосного доступа [5,6].

В процессы модернизации и технического перевооружения входят и разработка и внедрение новых технологий, которые позволяли бы расширить их функциональные и сервисные возможности, уменьшить массогабаритные показатели, увеличить надежность их работы и повысить экономический эффект.

Поэтому задача анализа особенностей электромагнитного излучения радиосистем УВЧ и СВЧ диапазонов является для Узбекистана актуальной.

**Объект и предмет исследований.** Объектом исследований являются особенности электромагнитного излучения радиосистем УВЧ и СВЧ диапазонов. Предмет исследований – формулирование научно обоснованных

рекомендаций по обеспечению качественной электромагнитной обстановки в УВЧ и СВЧ диапазонах в Республики Узбекистан.

**Цель и задача исследований.** Целью диссертационной работы является проведение комплексных исследований особенностей электромагнитного излучения радиосистем УВЧ и СВЧ диапазонов.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести систематизированный анализ беспроводных технологий УВЧ и СВЧ диапазонов;

- рассмотреть развитие беспроводных технологий УВЧ и СВЧ диапазонов, применительно к Республике Узбекистан.

**Гипотеза исследований.** При проведении данной работы предполагается, что результаты исследований могут быть использованы практически для улучшения электромагнитной обстановки в УВЧ и СВЧ диапазонах.

**Краткий литературный обзор по теме диссертации.** В настоящее время во всемирной научной литературе большое внимание уделяется проблеме эффективного использования электромагнитного излучения радиосистем УВЧ и СВЧ диапазонов. Вопросами исследования и развития электромагнитной обстановки в данных диапазонах занимались ведущие специалисты и ученые в области информационно-коммуникационных технологий всего мира. Результаты исследований широко освещены в мировой научной литературе, интернете.

**Методы исследований.** В работе использованы методы анализа, синтеза, индукции, дедукции полученных результатов исследования электромагнитного излучения радиосистем УВЧ и СВЧ диапазонов, а также электромагнитной обстановки в данных диапазонах.

**Теоретическая и практическая значимость полученных результатов** заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы практически для улучшения электромагнитной обстановки в УВЧ и СВЧ диапазонах.

**Научная новизна исследований.** На основе проведенных исследований получены следующие научные результаты:

- выполнен обзор и анализ беспроводных технологий в УВЧ и СВЧ диапазонах;

- улучшение электромагнитной обстановки в УВЧ и СВЧ диапазонах является чрезвычайно важным критерием функционирования любой системы связи, нацеленное на увеличение эффективности работы радиоканалов в данных диапазонах.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Основной текст диссертации занимает 72 страниц. Работа содержит 17 рисунков, включая графики, 8 таблиц, а также список литературы из 27 наименований.

# Глава I. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ УВЧ И СВЧ ДИАПАЗОНОВ

## 1. Радиоизлучение систем цифрового телевидения стандарта DVB

DVB или Digital Video Broadcasting - это семейство стандартов цифрового телевидения, разработанное консорциумом DVB и стандартизированное Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI). Наиболее распространенными стандартами данного семейства являются стандарты DVB-S, DVB-T и DVB-C.

В стандарте DVB-S передача компрессированного с помощью стандартов MPEG-2 или MPEG-4 видео и аудио потоков, а также какой-либо дополнительной информации осуществляется посредством спутника-ретранслятора, расположенного на геостационарной орбите, находящейся в плоскости экватора и имеющей нулевое наклонение круговой орбиты с радиусом 35785 км. Такой спутник совершает один оборот вокруг Земли точно за одни земные сутки, пребывая фактически в неподвижном состоянии относительно ее поверхности. Данное обстоятельство влечет за собой отсутствие необходимости в проектировании и установке сложных систем наведения и сопровождения в антеннах спутниковых систем телевизионного вещания.

Такое вещание было и остается самым надежным и экономичным с точки зрения подачи телевизионного сигнала высокого качества практически в любую точку Земли.

Однако для спутниковых систем телевизионного вещания существуют некоторые ограничения по рабочим частотам, связанные с особенностью распространения радиоволн в атмосфере Земли и характером частотного распределения естественных шумов, а также с тем, что к периоду начала использования систем спутникового телевизионного вещания большинство частот уже использовалось наземными службами.

Нижняя граница рабочих частот обусловлена тем, что радиоволны до определенных критических значений частот либо полностью отражаются от ионосферы, либо поглощаются в ней. Эти частоты лежат в диапазоне ниже 100 МГц в зависимости от географической широты трассы, солнечной активности и времени года.

Верхняя граница рабочих частот обусловлена возрастанием поглощения радиоволн за счет атмосферных осадков и газов и лежит в пределах от 10 до 100 ГГц.

Оптимальным диапазоном частот для систем спутникового телевизионного вещания с точки зрения минимального затухания в атмосфере считается диапазон частот в пределах от 1 до 20 ГГц [9].

Согласно, Регламенту радиосвязи [10] вся поверхность Земли разбита на три Района, для каждого из которых выделены определенные полосы частот, при этом Узбекистан и другие страны СНГ входят в Район №1, в котором для систем спутникового телевизионного вещания выделены полосы частот, приведенные в таблице 1.1 [9].

Для передачи телевизионных программ в основном используются С и К<sub>u</sub> диапазоны, К<sub>a</sub> и К диапазоны пока не нашли широкого применения из-за высокой стоимости приемной аппаратуры, а также из-за того, что в этих диапазонах сложно обеспечить охват вещанием достаточно большой территории с помощью одного луча передающей антенны.

Стандартом DVB-S предусмотрено использование наиболее освоенного участка К<sub>u</sub>-диапазона с частотами 11,7...12,5 ГГц, где допускается повышенная плотность потока мощности с искусственного спутника Земли, что является весьма весомым преимуществом перед другими частотами по причине ограниченности энергетического потенциала спутникового ретранслятора, в силу которой возрастает чувствительность к воздействию шумов и интерференционных помех [24].

В стандарте DVB-T передача компрессированного с помощью стандартов MPEG-2 или MPEG-4 видео и аудио потоков, а также какой-либо

дополнительной информации, осуществляется через сети наземного эфирного телевидения.

Таблица 1.1 Полосы частот, выделенные для систем спутникового телевизионного вещания на территории Республики Узбекистан

<b>Название диапазона</b>	<b>Диапазон частот, ГГц</b>
L-диапазон	1,452...1,550 и 1,610...1,710
S-диапазон	1,930...2,700
C-диапазон	3,400...5,250 и 5,725...7,075
X-диапазон	7,250...8,400
K <sub>u</sub> -диапазон	10,700...12,750 и 12,750...14,800
K <sub>a</sub> -диапазон	15,400...26,500 и 27,000...50,200
K-диапазон	84,000...86,000

Учитывая необходимость соблюдения прямой видимости в случае распространения радиосигнала в сетях данного типа, покрытие абонентского пространства организовывается аналогично сетям сотовой связи, по принципу «сотового» разграничения, отводя на каждую ячейку строго определенный запас частот, именуемый полосой.

Такое вещание является наименее надежным, быстрым и экономичным с точки зрения передачи телевизионного сигнала в силу высокого уровня потерь за счет рассеивания энергии радиосигнала на неровностях поверхности Земли, интерференционных потерь, различных помех естественного и искусственного происхождения и многого другого.

Использование сетей наземного телевидения обусловлено рядом факторов:

- развитие спутниковой связи, в особенности за последнее десятилетие, привело к тому, что на геостационарной орбите стало очень "тесно" и возникли проблемы с размещением новых космических аппаратов. Данное обстоятельство связано с тем, что в соответствии с существующими

международными нормами орбитальный разнос между геостационарными космическими аппаратами должен составлять не менее  $1^\circ$ . Это означает, что на орбите можно разместить не более 360 спутников. Сокращение углового разноса между точками стояния космических аппаратов на орбите, на современном уровне развития техники невозможно из-за взаимных помех. Существует явное ограничение количества возможных пользователей спутниковыми системами телевизионного вещания;

- зона охвата геостационарных космических аппаратов не включает в себя высокоширотные районы (выше  $76,5^\circ$  с.ш. и ю.ш.), т. е. действительно глобальное обслуживание не гарантируется. Данный фактор влечет за собой необходимость в использование альтернативных систем телевизионного вещания;

- использование кабельных систем телевизионного вещания требует прокладывание дорогостоящего кабеля.

Использование сетей наземного эфирного телевидения наиболее выгодно с экономической точки зрения и возможности размещения вещательных станций фактически в любой точке планеты, обеспечивая тем самым уверенный доступ для большинства пользователей.

Аналогично системам спутникового телевизионного вещания, для наземных систем в Районе №1 выделены определенные полосы частот, приведенные в таблице 1.2 [11].

В стандарте DVB-C передача компрессированного с помощью стандартов MPEG-2 или MPEG-4 видео и аудио потоков, а также какой-либо дополнительной информации осуществляется по кабелю.

Использование проводных технологий обеспечивает наиболее высокое отношение сигнал/шум в процессе передачи радиосигнала от оборудования, работающего в стандарте DVB-C по сравнению со стандартами DVB-S и DVB-T. Уменьшается вероятность возникновения внешних помех, однако в силу необходимости использования квадратурной амплитудной модуляции QAM все-таки наблюдается чувствительность к амплитудным и особенно

фазовым искажениям в тракте, поэтому вопросы согласования и коррекции характеристик остаются достаточно острыми [25].

Таблица 1.2 Полосы частот, выделенные для систем наземного телевизионного вещания на территории Республики Узбекистан

<b>Название диапазона</b>	<b>Диапазон частот</b>
VHF-диапазон	48,5...66,0 МГц(1 и 2 телевизионные каналы); 76,0...100,0 МГц (3–5 телевизионные каналы); 148,0...174,0 МГц (служебные и специальные каналы, сейчас частично используемые в сетях кабельного телевидения); 174,0...230,0 МГц (6-12 телевизионные телеканалы).
UHF-диапазон	470,0...582,0 МГц (21-34 телевизионные телеканалы); 582,0...790,0 МГц (35-60 телевизионные телеканалы).
K <sub>u</sub> -диапазон	10,7...12,75 ГГц
K <sub>a</sub> -диапазон	27,5...29,5 ГГц и 40,5...42,5 ГГц
K-диапазон	84,0...86,0 ГГц

Наиболее значимым недостатком использования DVB-C стандарта являются высокая стоимость самого кабеля и его прокладки.

Аналогично системам спутникового и наземного телевизионного вещания, для кабельных систем в Районе №1 выделены определенные полосы частот, приведенные в таблице 1.3 [12].

Из приведенной информации, можно сделать вывод, что каждый из телевизионных стандартов имеет ряд своих преимуществ и недостатков, что, как правило, влечет за собой необходимость использования всех этих

стандартов в наиболее характерных и подходящих для них условиях, что и осуществляется на территории Республики Узбекистан.

Таблица 1.3 Полосы частот, выделенные для систем кабельного телевизионного вещания на территории Республики Узбекистан

<b>Название диапазона</b>	<b>Диапазон частот</b>
VHF-диапазон	70-130 МГц
UHF-диапазон	300-862 МГц

## **2. Радиоизлучение систем мобильной связи**

В отличие от длинных волн, способных огибать земной шар за счет отражения в слоях ионосферы, микроволны, распространяющиеся вдоль поверхности Земли, ограничены линией горизонта, потому как подобно световому лучу распространяются в зоне прямой видимости.

Такое свойство микроволнового диапазона нашло широкое применение в системах сотовой связи, в силу ограниченности дальности излучения базовой станции линией горизонта, обеспечивая возможность размещения на некотором расстоянии следующей станции, работающей на той же частоте.

Как правило, радиоизлучение систем мобильной связи, происходит в условиях плотной городской застройки, которая представляет собой неоднородное пространство, заполненное хаотически расположенными полупроводящими препятствиями. Данное обстоятельство приводит к затуханию радиоволн на неоднородностях среды распространения, а также к эффекту многолучевой интерференции.

Эффект многолучевой интерференции сигнала заключается в том, что в результате многократных отражений сигнала от естественных преград один и тот же сигнал попадает в приемник различными путями. Но подобные пути распространения имеют и разные длины, а потому для различных путей

распространения ослабление сигнала будет неодинаковым. Следовательно, в точке приема результирующий сигнал представляет собой суперпозицию (интерференцию) многих сигналов, имеющих различные амплитуды и смещенных друг относительно друга по времени, что эквивалентно сложению сигналов с разными фазами.

Следствием многолучевой интерференции является искажение принимаемого сигнала. Многолучевая интерференция присуща любому типу сигналов, но особенно негативно она сказывается на широкополосных сигналах. В мобильных системах на широкополосном способе передачи сигнала базируются системы, основанные на методе множественного доступа CDMA, сети 3-го и 4-го поколений.

Дело в том, что при использовании широкополосного сигнала в результате интерференции определённые частоты складываются синфазно, что приводит к увеличению сигнала, а некоторые, наоборот, - противофазно, вызывая ослабление сигнала на данной частоте.

Говоря о многолучевой интерференции, возникающей при передаче сигналов, различают два крайних случая. В первом случае максимальная задержка между различными сигналами не превосходит времени длительности одного символа, и интерференция возникает в пределах одного передаваемого символа. Во втором случае максимальная задержка между различными сигналами больше длительности одного символа, а в результате интерференции складываются сигналы, представляющие разные символы, и возникает так называемая межсимвольная интерференция.

Наиболее отрицательно на искажении сигнала сказывается межсимвольная интерференция. Поскольку символ - это дискретное состояние сигнала, характеризующееся значениями частоты несущей, амплитуды и фазы, то для различных символов меняются амплитуда и фаза сигнала, поэтому восстановить исходный сигнал крайне сложно. Чтобы избежать, а точнее, частично компенсировать эффект многолучевого распространения, используются частотные эквалайзеры, однако, по мере

роста скорости передачи данных либо за счёт увеличения символьной скорости, либо за счёт усложнения схемы кодирования, эффективность использования эквалайзеров падает.

В стандартах 4-го поколения мобильной связи LTE и Mobile Wi-Max с максимальной скоростью передачи данных более 300 Мбит/с компенсация межсимвольной интерференции путем использования ССК-кодов и QDPSK-кодирования уже не справляется с возложенной на них задачей. Поэтому используется принципиально иной метод кодирования данных, который состоит в том, что поток передаваемых данных распределяется по множеству частотных подканалов и передача ведётся параллельно на всех этих подканалах. При этом высокая скорость передачи достигается именно за счёт одновременной передачи данных по всем каналам, а скорость передачи в отдельном подканале может быть и не высокой.

Поскольку в каждом из частотных подканалов скорость передачи данных можно сделать не слишком высокой, это создает предпосылки для эффективного подавления межсимвольной интерференции.

При частотном разделении каналов необходимо, чтобы ширина отдельного канала была, с одной стороны, достаточно узкой для минимизации искажения сигнала в пределах отдельного канала, а с другой - достаточно широкой для обеспечения требуемой скорости передачи. Кроме того, для экономного использования всей полосы канала, разделяемого на подканалы, желательно как можно более плотно расположить частотные подканалы, но при этом избежать межканальной интерференции, чтобы обеспечить полную независимость каналов друг от друга. Частотные каналы, удовлетворяющие перечисленным требованиям, называются ортогональными. Несущие сигналы всех частотных подканалов (а точнее, функции, описывающие эти сигналы) ортогональны друг другу.

Важно, что хотя сами частотные подканалы могут частично перекрывать друг друга, ортогональность несущих сигналов гарантирует

частотную независимость каналов друг от друга, а, следовательно, и отсутствие межканальной интерференции.

Рассмотренный способ деления широкополосного канала на ортогональные частотные подканалы называется ортогональным частотным разделением с мультиплексированием (OFDM). Одним из ключевых преимуществ метода OFDM является сочетание высокой скорости передачи с эффективным противостоянием многолучевому распространению. Если говорить точнее, то сама по себе технология OFDM не устраняет многолучевого распространения, но создает предпосылки для устранения эффекта межсимвольной интерференции. Дело в том, что неотъемлемой частью технологии OFDM является охранный интервал (Guard Interval, GI) - циклическое повторение окончания символа, пристраиваемое в начале символа.

Охранный интервал является избыточной информацией и в этом смысле снижает полезную (информационную) скорость передачи, но именно он служит защитой от возникновения межсимвольной интерференции. Эта избыточная информация добавляется к передаваемому символу в передатчике и отбрасывается при приеме символа в приемнике.

Наличие охранного интервала создает временные паузы между отдельными символами, и если длительность охранного интервала превышает максимальное время задержки сигнала в результате многолучевого распространения, то межсимвольной интерференции не возникает.

При использовании технологии OFDM длительность охранного интервала составляет одну четвертую длительности самого символа. При этом сам символ имеет длительность 3,2 мкс, а охранный интервал - 0,8 мкс. Таким образом, длительность символа вместе с охранным интервалом составляет 4 мкс [13].

Что же касается затухания радиоволн на неоднородностях среды распространения сигнала в мобильной связи, то в таблице 1.4 приведены основные препятствия и зависящие от них уровни затухания сигнала [14].

Из приведенной информации, можно сделать вывод о том, что радиоизлучение систем мобильной связи зависит от условий распространения сигнала и наиболее затруднительно в условиях городской застройки, в присутствие ряда затухающих факторов и такого явления, как многолучевая интерференция.

Таблица 1.4 Зависимость уровня затухания радиоволн от среды распространения сигнала

Наименование	Единица измерения	Значение
Окно в кирпичной стене	дБ	2
Стекло в металлической раме	дБ	6
Офисная стена	дБ	6
Железная дверь в офисной стене	дБ	7
Железная дверь в кирпичной стене	дБ	12,4
Стекло	дБ	3...20
Дождь и туман	дБ/км	0,02...0,05
Деревья	дБ/м	0,35

### 3. Радиоизлучение систем и устройств ISM-диапазона

В ISM-диапазонах помимо основного использования в медицинских, промышленных и научных целях существует возможность нелицензируемого использования в беспроводных радиотехнологиях. Все существующие на данный момент поколения Bluetooth вплоть до версии 4.0, а также стандарты Wi-Fi функционируют именно в этих нелицензируемых диапазонах.

Использование ISM-диапазона в медицинских, промышленных и научных целях обусловлено специфическими факторами, влекущими за собой необходимость использования строго определенных частот. Так для микроволновых печей частота 2,45 ГГц выбрана ввиду того, что данная частота является частотой резонансного поглощения для молекул воды, а поскольку во все продукты питания входит вода с этой частотой можно эффективно нагревать любой продукт.

Использование ISM-диапазона беспроводными технологиями, обусловлено иными факторами:

- в первую очередь, отсутствием необходимости в лицензировании оборудования используемого в рассматриваемом диапазоне. Данное обстоятельство привело к ощутимому увеличению массовости производимого товара и в следствии понижению его стоимости, делая товар наиболее доступным для широкого круга потребителей все сильнее увеличивая рынок сбыта;

- во вторую очередь, в сравнении с иными диапазонами на данных частотах обеспечивается наиболее оптимальное соотношение радиуса эффективного покрытия и количества возможных частотных каналов.

Исключительно важная особенность ISM-диапазонов, заключается в распространении электромагнитной волны в зоне прямой видимости. Столь серьезное ограничение возникает в результате неспособности радиоволн микроволнового диапазона огибать препятствия. Иными словами, в случае возникновения искусственной или естественной преграды на пути распространения электромагнитной волны происходит ослабление передаваемого сигнала, связанное с рассеиванием или поглощением электромагнитной волны, препятствующим объектом, причем, чем выше частота передаваемой волны, тем выше степень ослабления. А учитывая специфику оборудования, задействованного в данном диапазоне, распространение электромагнитной волны, как правило, происходит в пределах определенного помещения. По этой причине в таблице 1.5

приведены уровни ослабления электромагнитного излучения некоторыми строительными материалами [15].

Соответственно радиус эффективного покрытия беспроводного оборудования в серьезной степени зависит от количества препятствующих объектов и плотности их размещения. По этой причине антенны беспроводного оборудования условно разделяют на два класса:

- антенны для наружного (outdoor) применения;
- антенны для внутреннего (indoor) применения.

Таблица 1.5 Ослабление электромагнитного излучения некоторыми строительными материалами

Наименование материала или конструкции	Толщина, см	Сквозное затухание (дБ) на частоте: 2,4 ГГц
Кирпич	12	15
Металлизированный стеклянный кирпич	-	25
Штукатурка	1,8	-
Стекло	0,28	-
Фанера	0,4	-
Древесностружечная плита	1,8	3,2
Шлакобетонная стена	46	14,5
Капитальная стена здания	70	16
Оштукатуренная стена	15	8
Межэтажная перегородка	80	20
Окно с двойными рамами	-	7
Окно с одинарной рамой	-	4,5

Помимо радиуса эффективного покрытия, эти антенны отличаются герметичностью и устойчивостью к внешним воздействиям окружающей среды. Антенны для наружного использования больше по размерам и предусматривают крепление либо к стене дома, либо к вертикальному столбу.

В свою очередь оба класса делятся на всенаправленные (ненаправленные) и направленные антенны, что также оказывает влияние на зону эффективного покрытия беспроводным оборудованием.

Всенаправленные антенны - это антенны с круговой диаграммой направленности. Такие антенны представляют собой штырь, устанавливаемый вертикально. Этот штырь распространяет сигнал в плоскости, перпендикулярной своей оси, такими антеннами комплектуются беспроводные IP Wi-Fi камеры комнатного исполнения, точки доступа комнатного исполнения и т.д.

Использование всенаправленных антенн ограничено, как правило, их применяют только в помещениях и лишь в исключительных случаях на улице при расстоянии до беспроводных камер не более 300...500 метров, так как из-за круговой диаграммы направленности они не только излучают во все стороны, но и «собирают помехи» со всех сторон.

Следует отметить, что всенаправленные антенны имеют круговую диаграмму направленности лишь в горизонтальной плоскости. К примеру, уличная всенаправленная антенна с усилением 8 дБ имеет диаграмму направленности в горизонтальной плоскости  $360^\circ$  и всего  $60^\circ$  в вертикальной. Иными словами, все беспроводные устройства должны находиться на такой высоте, чтобы попадать в створ  $60^\circ$  данной антенны. А всенаправленная антенна с усилением 15 дБ имеет диаграмму направленности в горизонтальной плоскости  $360^\circ$  и всего  $10^\circ$  в вертикальной. Т.е. в данном случае все беспроводные устройства должны находиться на такой высоте, чтобы попадать в створ  $10^\circ$  данной антенны,

что невозможно, например, при размещении данной антенны на крыше высотного здания, а беспроводных Wi-Fi камер на столбах.

Направленные антенны в отличие от всенаправленных антенн обладают выраженными направленными свойствами, что необходимо для увеличения дальности действия антенны. Они используются в таких типах связи, как «Точка-Точка» или «Точка - Многоточка» [26].

Таким образом, беспроводное оборудование, использующее нелицензируемые частоты ISM-диапазонов, помимо серьезных преимуществ имеют ряд ограничений связанных с дальностью эффективного распространения электромагнитной волны.

### **Выводы к главе I**

В первой главе сделан обзор и рассмотрены особенности радиоизлучения наиболее распространенных технологий в УВЧ и СВЧ диапазонах, таких как семейство цифрового телевидения DVB, различные поколения сотовой связи вплоть до 4-го, технологии, использующие нелицензируемый диапазон ISM.

## **Глава II. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ПО РАДИОКАНАЛАМ**

### **1. Особенности распространения сигналов в различных средах**

Условия распространения радиоволн от передающего устройства к приемному оказывают существенное влияние на работу всей радиолинии в целом. К примеру, одна из основных характеристик любой радиолинии - дальность ее действия - зависит не только от технических данных передатчика и приемника, но и от условий распространения радиоволн.

Говоря об условиях распространения радиоволн, прежде всего, следует уделить внимание среде, находящейся на пути их распространения. Если грубо квалифицировать среды, то таковыми будут являться Земля, атмосфера Земли и межпланетное пространство.

Земля обладает определенными диэлектрической и магнитной проницаемостями, а также конечной проводимостью. Эти электрические параметры меняются как по поверхности земли, так и по глубине. Иными словами, в земле тоже может иметь место распространение радиоволн, но так как в подавляющем большинстве случаев передающая и приемная антенны находятся над Землей, то в основном интересуются распространением радиоволн, происходящим над ее поверхностью. И учитывая тот факт, что ослабление сигнала под землей очень велико, а дальность его распространения чрезвычайно мала, об эффективном распространении сигнала говорить не приходится [16].

Что же касается распространения радиоволн над поверхностью Земли, большинство радиоволн метрового, дециметрового и сантиметрового диапазонов нашли широкое применение в наземных системах связи и вещания. Исключение составили лишь линии связи, работающие на волнах, рассеянных в тропосфере и ионосфере.

В данных частотных диапазонах устойчивая работа радиолинии ограничена расстоянием прямой видимости, а также рядом других факторов связанных с неоднородностью поверхности Земли.

Особое внимание в условиях распространения радиоволн над земной поверхностью, следует уделить особенностям распространения радиоволн в городской местности.

По сравнению с распространением радиоволн над гладкой поверхностью Земли, распространение радиоволн в городе имеет более сложный характер. Городская застройка представляет собой неоднородное пространство, заполненное хаотически расположенными полупроводящими препятствиями. Как правило, в точку приема попадает не одна волна, а несколько - за счет отражений от окружающих зданий и дифракции на крышах зданий.

Детерминировано учесть фазы и амплитуды этих волн чрезвычайно трудно и поэтому особый интерес представляют экспериментальные данные.

В подвижной связи передаваемые сигналы подвержены также влиянию различных явлений, связанных с многолучевым распространением и рассеянием радиоволн на неоднородностях среды распространения. Эти явления приводят к замираниям радиосигналов. Замирания делятся на быстрые и медленные, отличающиеся своими статистическими характеристиками. Если приемная антенна установлена стационарно, то будут наблюдаться медленные замирания, обусловленные изменением градиента индекса коэффициента преломления тропосферы. Зафиксировать эти замирания можно только при помощи измерителя напряженности поля. В случае приема в движении, например в автомобиле, медленные замирания обычно обусловлены относительно небольшими изменениями рельефа местности на пути движения объекта. Быстрые замирания вызваны отражениями сигналов, как от неподвижных, так и от подвижных объектов, их называют многолучевыми замираниями.

Характеристики распространения сигналов между подвижным объектом и базовой станцией, в основном, зависят именно от многолучевых замираний. Многолучевость, помимо замираний, вызывает явление "расширение задержки" (или "уширение импульса"), которое вызывается наложением сдвинутых во времени переотражённых импульсов.

Многолучевое распространение приводит также к явлению депolarизации, когда за счет наложения отраженных радиоволн, изменяется плоскость поляризации сигнала и появляется сигнал ортогональной поляризации.

На качество приема сигналов в городских условиях значительное влияние оказывают индустриальные помехи. Наибольший вклад наблюдается от систем зажигания автомобилей. Поэтому минимальный уровень поля необходимый для качественного приема в городах выше.

Условия приема сигналов в УВЧ и СВЧ диапазонах существенно зависят от расположения приемной антенны относительно окружающих ее предметов. В городских условиях такими предметами являются здания, деревья, заводские трубы, мачты и так далее. Близко расположенные здания могут, в зависимости от их расположения, оказаться затеняющими препятствиями или источниками местных отраженных волн. Затеняющее действие отдельного препятствия приводит к тому, что поле за препятствием появляется в результате двух процессов - дифракции и проникновения через препятствие. Дифракция в рассматриваемом диапазоне волн протекает с большими потерями. Проникновение сквозь препятствия типа стен зданий также сопровождается большими потерями за счет поглощения. Измерения показывают, что напряженность поля за отдельно стоящим кирпичным зданием на 20...30 дБ ниже, чем перед ним, а за железобетонным строением уровень сигнала падает на 30...40 дБ. В целом внутри городской застройки имеются многочисленные теневые зоны, где сигнал значительно ослаблен. Действие окружающих зданий, как источников отраженных волн, проявляется, как в виде неравномерного распределения амплитуды поля в

пространстве из-за интерференции многочисленных отраженных волн, так и в своеобразном подсвечивании теневых зон. В случае вертикальной поляризации первичного поля отражения наиболее интенсивны от предметов, протяженных по вертикали (стены зданий, деревья). Большое влияние окружающих предметов на условия приема вертикально-поляризованного поля является одной из причин преимущественного применения горизонтальной поляризации в системах телевизионного вещания.

Сложность условий распространения в городе определяет статистический характер, как теоретических, так и экспериментальных исследований. Поэтому важны любые данные экспериментальных исследований, полученные в городских условиях.

В УВЧ и СВЧ диапазонах крупные и железобетонные строения практически радионепрозрачны. Казалось бы, в области тени непосредственно за зданием уровень поля должен быть еще ниже, однако согласно опыту, полученному на основе экспериментальных исследований, это не всегда так. Причиной тому - волны, отраженные от других зданий, которые «подсвечивают» теневые области и создают в них напряженность поля, значительно превышающую напряженность прошедшей через здание волны.

Стены зданий, размеры которых во много раз превышают длину волны, создают интенсивные отражения, придающие процессу распространения радиоволн в городе многолучевой характер. Сложная конфигурация отражающих поверхностей (оконные проемы, балконы, лоджии и так далее) порождает рассеяние радиоволн в широком секторе углов. Вместе с тем в направлениях, соответствующих зеркальному отражению, интенсивность излучения значительно возрастает.

В ряде источников отмечается значительное влияние планировки улиц городского района на величину ослабления радиоволн. Так на продольных улицах сигнал лучше распространяется вдоль широких улиц, чем вдоль

узких, ослабление на поперечных улицах на 3...8 дБ больше, чем на продольных [17].

Атмосфера Земли по своим электрическим характеристикам представляет сложную среду, принятую делить на три основных слоя: тропосферу, стратосферу и ионосферу.

Тропосфера – самый нижний слой атмосферы, простирающийся в среднем до высоты 10...12 км. Представляет собой неоднородную в электрическом отношении среду, по той причине, что плотность воздуха с высотой падает, в связи с изменением температуры и влажности.

Важной особенностью тропосферы являются метеорологические процессы формирующие погоду, происходящие по большей части в ее пределах.

Стратосфера - это слой атмосферы, простирающийся в пределах от 10...12 до 60 км. Отличается от тропосферы значительно меньшей плотностью воздуха, так как на высотах 10-50 км находится слой озона, который сильно поглощает ультрафиолетовое солнечное излучение, что и приводит к возрастанию температуры на этих высотах.

Тропосфера и стратосфера считаются неионизированными слоями воздуха, хотя это не совсем точно, так как имеется некоторая концентрация электронов порядка нескольких десятков и даже сотен на  $1 \text{ см}^3$ . Однако это концентрация по сравнению с концентрацией нейтральных молекул газа ничтожно мала, поэтому на процесс распространения радиоволн не влияет.

Ионосфера - это самый верхний, ионизированный слой атмосферы, простирающийся в пределах от 60 до 15000...20000 км.

Ионизация атмосферы здесь вызывается ультрафиолетовым излучением Солнца и потоками частиц, используемых Солнцем, а также космических частиц приходящих из глубин космоса. В результате ионизации в ионосфере появляются как свободные электроны, так и положительные ионы. Концентрация ионов растет с высотой и достигает при некотором ее значении максимума порядка  $10^6 \text{ эл/см}^3$ , а затем начинает убывать.

Верхняя граница ионосферы находится на той нечетко обозначенной высоте, где концентрация электронов становится такой же, как и в межпланетном пространстве [16].

Распространение радиоволн в такой среде сопровождается следующими физическими процессами:

- преломлением волн, обусловленным пространственной неоднородностью атмосферы; процесс преломления осложняется двойным лучепреломлением в анизотропной ионосфере;
- рассеянием поля на локальных неоднородностях атмосферы;
- ослаблением напряженности поля в газах тропосферы, в осадках типа дождя, тумана и многого другого;
- поглощением, обусловленным конечной проводимостью ионосферы;
- изменением поляризации волны в анизотропной ионосфере и деполаризацией в осадках;
- регулярными и случайными флуктуациями напряженности поля, связанными с изменениями электрических параметров атмосферы;
- искажениями передаваемой информации из-за многолучевой структуры принимаемого поля и дисперсии [17].

Что касается межпланетного пространства, то оно заполнено газом чрезвычайно слабой концентрации. Состав этого газа, как и концентрации в нем еще не точно определены.

В литературе приводятся разные величины концентрации электронов, отличающиеся друг от друга на два порядка. Среднее значение по этим данным - несколько десятков электронов на  $\text{см}^3$ . Это разреженный межпланетный газ и представляет собой межпланетную среду, которая во многих случаях может рассматриваться как свободное пространство [16].

Таким образом, делая вывод из рассмотренной в данном разделе информации, легко заметить различия в условиях распространения радиоволн в приведенных средах, а также отметить важность

предварительного расчета дальности эффективного радио покрытия в них, с учетом всех специфических особенностей.

## **2. Факторы, влияющие на качество передачи радиосигналов**

Для любой системы связи справедливо утверждение, что принимаемый сигнал отличается от переданного. Данный эффект является следствием различных искажений возникающих в процессе передачи сигнала. Так, при передаче аналогового сигнала искажения приводят к его случайному изменению, тем самым ухудшая качество связи. В случае передачи цифровых данных, искажения приводят к появлению двоичных ошибок, преобразовывая двоичную единицу в нуль или наоборот.

Можно описать целый ряд различных искажений, обладающих особенной степенью воздействия на пропускную способность каналов связи, однако учитывая необходимость соблюдения прямой видимости в диапазонах УВЧ и СВЧ, рассматриваемых в рамках данной диссертационной работы, наиболее важными из них являются:

- затухание или амплитудное искажение сигнала;
- потери в свободном пространстве;
- шум;
- атмосферное поглощение.

При передаче сигнала в любой среде его интенсивность уменьшается с расстоянием. Такое ослабление, или затухание, в общем случае логарифмически зависит от расстояния. Как правило, затухание можно выразить как постоянную потерю интенсивности (в децибелах) на единицу длины. Помимо этого рассматривая уровень затухания сигнала чрезвычайно важно учитывать три фактора возникающих в результате распространения радиоволны:

- полученный сигнал должен обладать мощностью, достаточной для его обнаружения и интерпретации приемником;
- при получении должны отсутствовать ошибки, мощность сигнала должна поддерживаться на уровне, в достаточной мере превышающем шум;
- при повышении частоты сигнала затухание возрастает, что приводит к искажению.

Первые два фактора связаны с затуханием интенсивности сигнала и использованием усилителей или ретрансляторов. Для двухточечного канала связи мощность сигнала передатчика должна быть достаточной для четкого приема. В то же время интенсивность сигнала не должна быть слишком большой, так как в этом случае контуры передатчика или приемника могут оказаться перегруженными, что также приведет к искажению сигнала. Если расстояние между приемником и передатчиком превышает определенную постоянную, свыше которой затухание становится неприемлемо высоким, для усиления сигнала в заданных точках пространства располагаются ретрансляторы или усилители. Задача усиления сигнала значительно усложняется, если существует множество приемников, особенно если расстояние между ними и передающей станцией непостоянно.

Третий фактор списка известен как амплитудное искажение. Вследствие того, что затухание является функцией частоты, полученный сигнал искажается по сравнению с переданным, что снижает четкость приема. Для устранения этой проблемы используются методы выравнивания искажения в определенной полосе частот. Одним из возможных подходов может быть использование устройств, усиливающих высокие частоты в большей мере, чем низкие.

Для любого типа беспроводной связи передаваемый сигнал рассеивается по мере его распространения в пространстве. Следовательно, мощность сигнала, принимаемого антенной, будет уменьшаться по мере удаления от передающей антенны. Для спутниковой связи упомянутый эффект является основной причиной снижения интенсивности сигнала. Даже если

предположить, что все прочие причины затухания и ослабления отсутствуют, переданный сигнал будет затухать по мере распространения в пространстве. Причина этого - распространение сигнала по все большей площади.

Так как для любой передачи данных справедливо утверждение, что полученный сигнал состоит из переданного сигнала, модифицированного различными искажениями, которые вносятся самой системой передачи, а также из дополнительных нежелательных сигналов, взаимодействующих с исходной волной во время ее распространения от точки передачи к точке приема, эти нежелательные сигналы принято называть шумом. Шум является основным фактором, ограничивающим производительность систем связи.

Шумы можно разделить на четыре категории:

- тепловой шум;
- интермодуляционные шумы;
- перекрестные помехи;
- импульсные помехи.

Тепловой шум является результатом теплового движения электронов. Данный тип помех оказывает влияние на все электрические приборы, а также на среду передачи электромагнитных сигналов.

Если сигналы разной частоты передаются в одной среде, может иметь место интермодуляционный шум. Интермодуляционным шумом являются помехи, возникающие на частотах, которые представляют собой сумму, разность или произведение частот двух исходных сигналов. Например, смешивание двух сигналов, передаваемых на частотах  $f_1$  и  $f_2$  соответственно, может привести к передаче энергии на частоте  $f_1 + f_2$ . При этом данный паразитный сигнал может интерферировать с сигналом связи, передаваемым на частоте  $f_1 + f_2$ .

С перекрестными помехами сталкивался каждый, кто во время использования телефона переменного слышал разговор посторонних людей. Данный тип помех возникает вследствие нежелательного объединения трактов передачи сигналов. Такое объединение может быть вызвано

сцеплением близко расположенных витых пар, по которым передаются множественные сигналы. Перекрестные помехи могут возникать во время приема посторонних сигналов антеннами. Несмотря на то, что для указанного типа связи используют высокоточные направленные антенны, потерь мощности сигнала во время распространения избежать все же невозможно. Как правило, мощность перекрестных помех равна по порядку (или ниже) мощности теплового шума. Все указанные выше типы помех являются предсказуемыми и характеризуются относительно постоянным уровнем мощности. Таким образом, вполне возможно спроектировать систему передачи сигнала, которая была бы устойчивой к указанным помехам.

Однако кроме вышеперечисленных типов помех существуют так называемые импульсные помехи, которые по своей природе являются прерывистыми и состоят из нерегулярных импульсов или кратковременных шумовых пакетов с относительно высокой амплитудой. Причин возникновения импульсных помех может быть множество, в том числе внешние электромагнитные воздействия (например, молнии) или дефекты (поломки) самой системы связи.

Причиной дополнительных потерь мощности сигнала между передающей и принимающей антеннами является атмосферное поглощение, при этом основной вклад в ослабление сигнала вносят водные пары и кислород. Дождь и туман (капли воды, находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе) приводят к рассеиванию радиоволн и в конечном счете к ослаблению сигнала. Указанные факторы могут быть основной причиной потерь мощности сигнала. Следовательно, в областях, для которых характерно значительное выпадение осадков, необходимо либо сокращать расстояние между приемником и передатчиком, либо использовать для связи более низкие частоты [13].

Из рассмотренной информации, описанной в разделе, можно сделать выводы, что в процессе передачи сигнала его качество будет ухудшаться по

ряду объективных причин и на приеме может прийти чрезвычайно искаженный сигнал, который невозможно будет восстановить. По этой причине необходимо учитывать факторы, влияющие на качество передачи радиосигналов для избежания или подавления таковых.

### **3. Угрозы безопасности и режимам работы радиосистем**

Учитывая главное отличие между проводными и беспроводными сетями, связанное с абсолютно неконтролируемой областью между конечными точками сети, следует рассматривать характерные только для беспроводных систем угрозы безопасности, оборудование, которое используется при атаках, проблемы, возникающие при роуминге от одной соты к другой в мобильной связи, укрытия для беспроводных каналов и криптографическую защиту открытых коммуникаций. Так как для того, чтобы создать безопасное беспроводное приложение, надо выявить все возможные направления, по которым будут идти беспроводные «атаки».

Ниже приведены наиболее характерные угрозы безопасности для беспроводной сети [18].

*Подслушивание.* Наиболее распространенная проблема в таких открытых и неуправляемых средах, как беспроводные сети, – возможность анонимных атак. Анонимные вредители могут перехватывать радиосигнал и расшифровывать передаваемые данные. Оборудование, используемое для подслушивания в сети, может быть не сложнее того, которое используется для обычного доступа к этой сети, и иногда практически бесплатно выдается при активации мобильного телефона. В любом беспроводном устройстве есть компоненты, предназначенные для отправки и получения беспроводных сигналов. С небольшими изменениями или даже без них эти устройства можно приспособить к приему всех сигналов в определенном канале сети или на определенной частоте. Чтобы перехватить передачу, злоумышленник должен находиться вблизи от передатчика. Перехваты такого типа

практически невозможно зарегистрировать, и еще труднее им помешать. Использование антенн и усилителей дает злоумышленнику возможность находиться на значительном удалении от цели в процессе перехвата.

Подслушивание ведут для сбора информации в сети, которую впоследствии предполагается атаковать. Первичная цель злоумышленника - понять, кто использует сеть, какая информация в ней доступна, каковы возможности сетевого оборудования, в какие моменты его эксплуатируют наиболее и наименее интенсивно и какова территория развертывания сети. Все это пригодится для того, чтобы организовать атаку на сеть. Многие общедоступные сетевые протоколы передают такую важную информацию, как имя пользователя и пароль, открытым текстом. Перехватчик может использовать добытые данные для того, чтобы получить доступ к сетевым ресурсам. Даже если передаваемая информация зашифрована, в руках злоумышленника оказывается текст, который можно запомнить, а потом уже раскодировать.

Другой способ подслушивания - подключиться к беспроводной сети. Активное подслушивание в локальной беспроводной сети (LAN) обычно основано на неправильном использовании протокола Address Resolution Protocol (ARP). Изначально эта технология была создана для «прослушивания» сети. В действительности мы имеем дело с атакой типа «man in the middle» (MITM - «человек в середине») на уровне связи данных. Атакующий посылает ARP-ответы, на которые не было запроса, к целевой станции LAN, которая отправляет ему весь проходящий через нее трафик. Затем злоумышленник будет отсылать пакеты указанным адресатам. Таким образом, беспроводная станция может перехватывать трафик другого беспроводного клиента (или проводного клиента в локальной сети).

*Глушение.* Глушение в сетях происходит тогда, когда преднамеренная или непреднамеренная интерференция превышает возможности отправителя или получателя в канале связи, таким образом, выводя этот канал из строя. Атакующий может использовать различные способы глушения.

Полную парализацию сети может вызвать атака типа DoS (Denial of Service - отказ в обслуживании). Во всей сети, включая базовые станции и клиентские терминалы, возникает такая сильная интерференция, что станции не могут связываться друг с другом. Эта атака выключает все коммуникации в определенном районе. Если она проводится в достаточно широкой области, то может потребовать значительных мощностей. Атаку DoS на беспроводные сети трудно предотвратить или остановить. Большинство беспроводных сетевых технологий использует нелицензированные частоты - следовательно, допустима интерференция от целого ряда электронных устройств.

Глушение клиентской станции дает возможность мошеннику подставить себя на место заглушенного клиента. Также глушение могут использовать для отказа в обслуживании клиента, чтобы ему не удалось реализовать соединение. Более изощренные атаки прерывают соединение с базовой станцией, чтобы затем она была присоединена к станции злоумышленника.

Глушение базовой станции предоставляет возможность подменить ее атакующей станцией. Такое глушение лишает пользователей доступа к услугам, а телекоммуникационные компании - их прибылей.

Как отмечалось выше, большинство беспроводных сетевых технологий использует нелицензированные частоты. Поэтому многие устройства - радиотелефоны, системы слежения и микроволновые печи – могут влиять на работу беспроводных сетей и глушить беспроводное соединение. Чтобы предотвратить такие случаи непреднамеренного глушения, прежде чем покупать дорогостоящее беспроводное оборудование, надо тщательно проанализировать место его установки. Такой анализ поможет убедиться в том, что другие устройства никак не помешают коммуникациям, а также удержит вас от бессмысленных трат.

*Вторжение и модификация данных.* Вторжение происходит, когда злоумышленник добавляет информацию к существующему потоку данных, чтобы перехватить соединение или пересылать данные либо команды в своих целях. Атакующий может манипулировать управляющими командами и

потоками информации, отсылая пакеты или команды на базовую станцию, и наоборот. Подавая управляющие команды в нужный канал управления, можно добиться отсоединения пользователей от сети.

Вторжение может использоваться для отказа в обслуживании. Атакующий переполняет точку доступа в сеть командами соединения, «обманув» ее превышением максимума возможных обращений, - таким образом, другим пользователям будет отказано в доступе. Подобные атаки возможны также, если протоколы верхнего уровня не обеспечивают проверки потока данных на целостность в реальном времени.

*Атака «man in the middle».* Атаки типа MITM (man in the middle - «человек в середине») аналогичны выше - описанным вторжениям. Они могут принимать различные формы и используются для разрушения конфиденциальности и целостности сеанса связи. Атаки MITM более сложны, чем большинство других атак: для их проведения требуется подробная информация о сети. Злоумышленник обычно подменяет идентификацию одного из сетевых ресурсов. Когда жертва атаки инициирует соединение, мошенник перехватывает его и затем завершает соединение с требуемым ресурсом, а потом пропускает все соединения с этим ресурсом через свою станцию. При этом атакующий может посылать информацию, изменять посланную или подслушивать все переговоры, а потом расшифровывать их.

*Абонент-мошенник.* После тщательного изучения работы абонента сети атакующий может «притвориться» им или клонировать его клиентский профиль, чтобы попытаться получить доступ к сети и ее услугам. Кроме того, достаточно украсть устройство для доступа, чтобы войти в сеть. Обеспечение безопасности всех беспроводных устройств - дело очень непростое, поскольку они намеренно делаются небольшими для удобства передвижения пользователя. Самый общий механизм обеспечения безопасности - управление доступом к ресурсам на втором уровне. Этот

механизм давал сбои, когда сотовые операторы с его помощью пытались ограничить доступ к телефонным номерам, используя Electronic Secure

Number (ESN — последовательный электронный номер). Затем еще одна неудача коснулась стандарта беспроводных LAN 802.11 с использованием Media Access Controls (MAC - управление доступом к среде), которое легко удавалось обойти опытным атакующим.

*Ложные точки доступа в сеть.* Опытный атакующий может организовать ложную точку доступа с имитацией сетевых ресурсов. Абоненты, ничего не подозревая, обращаются к этой ложной точке доступа и сообщают ей свои важные реквизиты, например аутентификационную информацию. Этот тип атак иногда применяют в сочетании с прямым глушением, чтобы «заглушить» истинную точку доступа в сеть.

Пользователи, имеющие доступ к проводной сети, могут также способствовать установлению ложных точек доступа, ненамеренно открывая сеть для нападений. Иногда пользователь устанавливает беспроводную точку доступа, стремясь к удобствам, которые предоставляет беспроводная связь, но не задумываясь о проблемах безопасности. Сегодня оборудование для точек доступа можно купить в любом магазине электроники. Эти точки могут оказаться «черным ходом» для проникновения в проводную сеть, поскольку обычно они устанавливаются в такой конфигурации, которая подвержена всевозможным атакам. Атакующие могут запросто подсоединиться к пользовательским точкам доступа и входить в проводную сеть подобно обычным ее посетителям. Большинство сетей полагаются на защиту межсетевого экрана (firewall), обеспечивающего неприкосновенность периметра, но совершенно не подготовлены к отражению атаки, исходящей изнутри.

*Анонимность атак.* Беспроводной доступ обеспечивает полную анонимность атаки. Без соответствующего оборудования в сети, позволяющего определять местоположение, атакующий может легко сохранять анонимность и прятаться где угодно на территории действия

беспроводной сети. В таком случае злоумышленника трудно поймать и еще сложнее передать дело в суд.

*War driving.* War driving («ведение войны») - это процесс поиска беспроводной LAN посредством блуждания в определенной области. Название возникло по аналогии с термином «war dialing», которым обозначена одна из старых атак, суть которой в повторном наборе различных номеров для поиска модемов и других точек входа в сеть.

Важно отметить, что многие мошенники изучают сети не для атак на их внутренние ресурсы, а для получения бесплатного анонимного доступа в Internet, прикрываясь которым они атакуют другие сети. Если операторы связи не принимают мер предосторожности против таких нападений, то будут отвечать за вред, причиняемый при использовании их доступа к Internet другим сетям.

*Атаки типа «клиент-клиент».* Практически все абоненты сети могут быть атакованы. После первого успеха атакующий получает право на доступ к корпоративной или телекоммуникационной сети. Большинство сетевых администраторов не уделяет должного внимания ужесточению режима безопасности или установке персональных межсетевых экранов (firewalls). Поэтому успешные атаки на клиентов беспроводной сети могут открыть злоумышленникам имена пользователей и их пароли, а следовательно, и доступ к другим сетевым ресурсам.

*Атаки на сетевое оборудование.* Неправильно сконфигурированное оборудование – первая приманка для атакующих: точно оно открывает путь для дальнейшего проникновения в сеть (иногда здесь используют метафору «камешки для перехода через реку»). Этот путь могут избрать для того, чтобы обойти контроль доступа. Главные объекты атак на оборудование - такие сетевые устройства, как маршрутизаторы, переключатели, серверы для хранения архивов и серверы доступа. Многие сетевые администраторы полагаются на механизмы безопасности второго уровня, например виртуальные LAN (Virtual local area networks, VLAN), чтобы беспроводные

сети были отделены от проводных. Однако есть немало примеров атак, успешно обходящих системы безопасности VLAN. Многие типы атак зависят от типа переключателей. Здесь можно выделить три большие класса: атаки на переключатель, атаки MAC и атаки на маршрутизатор.

Атаки на переключатели очень разнообразны. Некоторые предполагают перегрузку MAC - или ARP-таблиц в переключателе и последующее их открытие. В этом случае успех злоумышленников чаще всего обусловлен небрежностью администратора, выбравшего для сети переключатель низкого качества. Другие атаки подразумевают манипуляцию протоколом, который переключатель использует для коммуникаций: известен, например, такой прием, как «разрастающееся дерево». MAC-вторжения включают и обход ARP, и атаки на других уровнях, «обманывающие» сетевые устройства, принуждая их пересылать данные не тем получателям, которым они предназначены.

Атаки на маршрутизаторы очень сложны и обычно требуют вмешательства в такие протоколы, как OSPF (Open Shortest Path First - «первым открывается кратчайший путь») или EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol - продвинутый внутренний протокол шлюза маршрутизатора), чтобы изменить трафик для отказа в обслуживании или так называемого сниффинга.

Минимальный набор оборудования атакующего включает в себя интерфейс беспроводной сети. Это может быть либо карточка интерфейса Internet для беспроводной сети (NIC), GPRS- или CDPD-термина для сотовой телефонии, связанный с компьютером, либо карточка PCMCIA или иные средства связи. Опытный атакующий добавит к этому глушитель или специальное программное обеспечение. Мошеннику сначала надо обнаружить сеть и определить ее границы, чтобы выбрать наилучшую позицию для атаки. В этом смысле предпочтение отдается естественным природным укрытиям, тихим уголкам в соседних домах или любому месту, откуда можно быстро и безопасно отступить. Обычные средства определения

границ сети - ноутбук, GPS-устройство, антенна, усилитель и карточка NIC для беспроводной Ethernet-связи. Чтобы производить длительное обследование, потребуется дополнительный источник энергии, например конвертер для преобразования 12 В постоянного напряжения в 120 В переменного напряжения, – таким образом будет обеспечено питание ноутбука и остального оборудования (глушителя, низко шумящего усилителя и так далее), если таковое используется. Некоторые «профессионалы» вставляют конвертер на приборную доску своего автомобиля вместо прикуривателя, чтобы источник напряжения всегда был под рукой. После того как территория сети установлена, атакующий, используя различные антенные устройства, определяет лучшую позицию для начала атаки.

Для начала атаки злоумышленники используют антенны различных типов в зависимости от ситуации и желаемого эффекта. Антенны классифицируются обычно по степени усиления полученного или передаваемого сигнала и по ширине пучка, в котором этот сигнал передается. Ширина главного лепестка диаграммы направленности антенны указывает на то, как излучается электромагнитное излучение. Три наиболее популярных типа антенн:

- излучающая по всем направлениям, симметричный или штыревой излучатели (Рис. 2.1);
- направленная, Уда-Яги, или волновой канал (Рис. 2.2);
- параболическая (Рис. 2.3).

Антенна широкого радиуса действия, или «всенаправленная», подает сигнал во все стороны и обычно используется для улавливания либо глушения сигналов на широкой территории. Электромагнитное излучение приходит со всех сторон, и если не использовать специальный комплекс приемных антенн, то при помощи одной станции со «всенаправленной» антенной невозможно определить направление сигнала на излучающую антенну. Кроме того, антенны широкого радиуса действия не дают никакого

усиления сигнала, если не соединить их с коллинеарным массивом, где усиление может достигать 8 дБ.

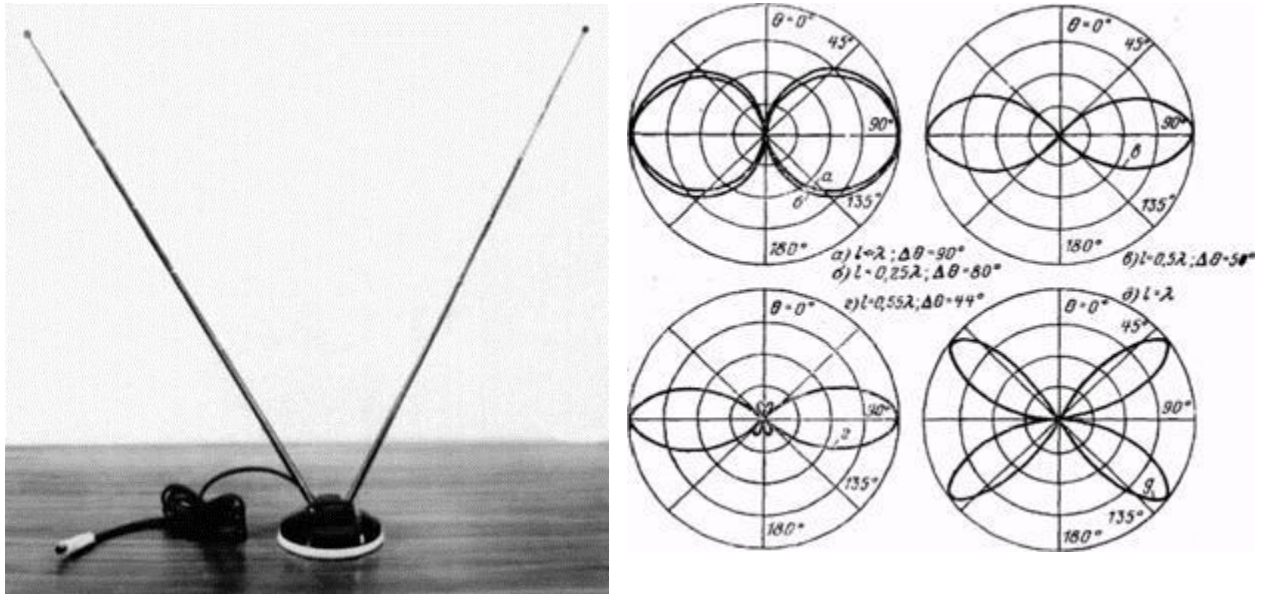


Рис. 2.1. Симметричный вибратор и несколько возможных вариаций диаграммы направленности в зависимости от его физических характеристик

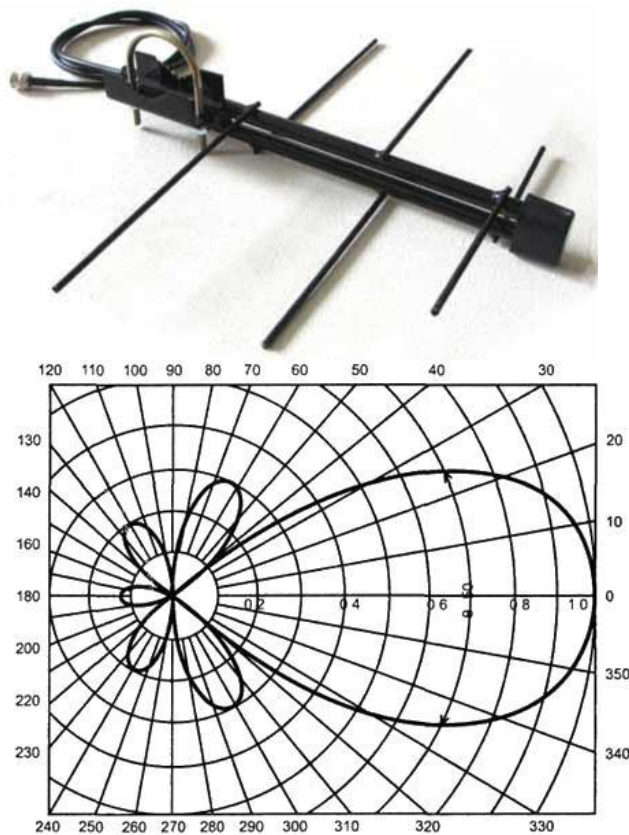


Рис. 2.2. Антенна Уда-Яги и ее диаграмма направленности

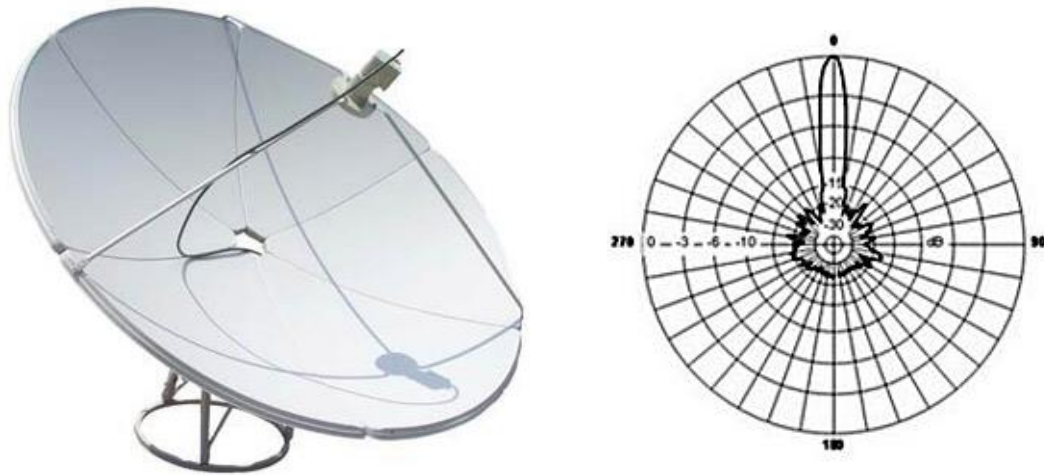


Рис 2.3 Параболическая антенна и ее диаграмма направленности

Антенна уагі (направленная) обладает особым свойством: она фокусирует электромагнитное излучение от присоединенного элемента в определенном направлении. Антенна такого типа обычно формирует диаграмму направленности шириной 10...20 с усилением 10...18 дБ. Обычно уагі используется, когда не удается охватить все требуемое пространство излучением «всенаправленной» антенны. Кроме того, уагі применяют в целях глушения определенного устройства или группы устройств, географически расположенных недалеко друг от друга. Использование треножника для телекамеры или телескопа помогает нацелить антенну уагі на объект.

У параболической антенны, самый узкий пучок излучения - от 4 до 10 градусов. Этот тип антенны используется, когда атакующему надо затаиться и работать с большого расстояния. С ней трудно управляться из-за узости главного лепестка диаграммы направленности, но благодаря этому можно точнее определять местоположение объекта. Параболическая антенна также подходит для глушения или проведения направленных атак, а в некоторых случаях и для того, чтобы избежать обнаружения.

Программное обеспечение, которое обеспечивает анализ полученных пакетов, рассортированных по широте и долготе, обычно используют, чтобы обозначить территорию и границы неизвестной беспроводной сети Internet. Широту и долготу помогает установить GPS-приемник. Развертывание беспроводной сети определяют, нанося точки на карту.

*Тайные беспроводные каналы.* Есть еще один фактор, который пользователи беспроводных систем должны принимать во внимание, создавая или оценивая сеть. Поскольку стоимость точек беспроводного доступа низка и создать точку доступа на основе программного обеспечения, стандартного ноутбука и NIC-карты для беспроводной связи довольно просто, требуется бдительно отслеживать некорректно сконфигурированное или непродуманно развернутое беспроводное оборудование в проводной сети. Это оборудование может проделать очень заметные «дыры» в проводной инфраструктуре, куда могут направиться атакующие с расстояния в несколько километров от сети.

При помощи аналогичной конструкции можно проложить своеобразный «беспроводной мостик» и выкачивать данные из сети вне защищенного здания, образовав целую цепь точек доступа. Подобный прием может увеличить территорию, где развернута сеть, на много миль.

*Проблемы роуминга.* Еще одно важное отличие проводных и беспроводных технологий заключается в способности пользователя передвигаться, поддерживая связь с сетью. Концепция роуминга практически одинакова в различных стандартах беспроводной связи - CDMA (Code Division Multiple Access), GSM (Global System for Mobile Communications) и беспроводном Internet. Многие сетевые приложения TCP/IP требуют, чтобы IP-адреса сервера и клиента оставались неизменными, однако в процессе роуминга в сети абонент обязательно будет покидать одни ее участки и присоединяться к другим. На этом требовании основано использование мобильных IP-адресов и других механизмов роуминга в беспроводных сетях.

Главная идея мобильной IP-связи - регистрация местонахождения пользователя и перенаправление трафика. Адрес, не зависящий от того, где находится абонент, предназначен для поддержки TCP/IP-соединения, а временный адрес, зависящий от местонахождения пользователя, обеспечивает соединение с ресурсами локальной сети. Для мобильной системы IP есть три дополнительных регулирующих требования: мобильный узел, домашний агент и иностранный агент. Мобильный узел - это беспроводное устройство пользователя, домашний агент - сервер, расположенный в домашней сети мобильного узла, а иностранный агент - сервер, расположенный в сети, куда пойдет, роуминг. Когда мобильный узел переходит в новую сеть, он получает временный IP-адрес, зависящий от местоположения, и регистрируется в иностранный агент. Затем иностранный агент связывается с домашним агентом, уведомляя его, что мобильный узел присоединен к нему и все пакеты должны с этого момента перенаправляться через роуминг иностранного агента на домашний агент.

Для такой схемы очевидны некоторые проблемы. Ответные атаки на процесс регистрации могут быть осуществлены с ложной станции в другой ячейке с целью перехвата трафика, исходящего из сети. Если злоумышленник имитирует реальную станцию, он получит незаконное право пользования сетевыми услугами.

Таким образом, понимание угроз безопасности беспроводных сетей - первый шаг в обеспечении их защиты. Преимущества использования беспроводных технологий настолько очевидны, что серьезные угрозы безопасности не должны стать преградой для распространения беспроводных приложений. Простейшие меры предосторожности могут минимизировать ущерб от многих распространенных атак.

## **Выводы к главе II**

Во второй главе сделан обзор и рассмотрены особенности распространения сигналов в различных средах, возникающие в связи с этим проблемы, факторы, влияющие на качество передачи радиосигналов. Особое внимание уделено проблемам угроз безопасности в радиосистемах, их появлению, проявлению и способам борьбы с ними.

# Глава III. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ РАДИОСИСТЕМ УВЧ И СВЧ ДИАПАЗОНОВ

## 1. Проблемы взаимного влияния радиоустройств

Распространение сигналов в системах УВЧ и СВЧ диапазонов серьезно ограничено проблемами в области электромагнитной совместимости. Данное обстоятельство не было бы столь заметно, если бы на основе беспроводных технологий, работающих в рассматриваемых диапазонах, в особенности в нелицензируемых диапазонах ISM (по причине сложности контролирования и согласования нелицензируемых служб), не производились и эксплуатировались такие бытовые устройства, как беспроводные видеокамеры Wi-Fi, детские радио-няни, адаптеры Wi-Fi и Bluetooth в ноутбуках, современные игровые приставки, поддерживающие сетевые режимы по беспроводному каналу, беспроводная аудиоаппаратура и многое другое. Следует отметить, что сфера применения одних только беспроводных видеокамер и точек доступа Wi-Fi чрезвычайно обширна и нашла применение в различных барах и кафе, офисах, банках, на избирательных участках, автостоянках, в домашних условиях и во многих других местах, что серьезно заставляет задуматься об очевидных проблемах электромагнитной совместимости в используемых диапазонах [21].

На основании данных проблем в 2010 году компанией «Miercom» был сформирован отчет касательно результатов лабораторного тестирования относительно уровней вносимых помех различным оборудованием, работающим в диапазонах ISM 2,4ГГц и 5 ГГц на беспроводные точки доступа Wi-Fi.

Клиентом в исследование являлся портативный компьютер с адаптером стандарта 802.11n, точкой доступа фирмы «Cisco» серии 3500. Исходная пропускная способность оборудования на частоте 2,4 ГГц была измерена в

свободном от помех диапазоне на каналах 1, 6 и 11, и составила 88,849 Мбит/с.

После включения гарнитуры Bluetooth в непосредственной близости от испытуемого оборудования пропускная способность упала до 76 Мбит/с. Следует отметить, что устройство Bluetooth представляет собой тип помех, вызывающих скачкообразные изменения частоты.

Также чтобы зафиксировать влияние скачкообразной смены частоты на сигнал, использовались беспроводные телефоны, работающие на частоте 2,4 ГГц. Использовались три телефона: два в режиме разговора и один, находящийся на базовой станции, подключенной к наземной проводной линии. Во время использования всех телефонов пропускная способность упала до 57 Мбит/с.

Что же касается микроволновой печи, ей создаются помехи циклического типа, оказывающие воздействие на каналы верхней части частоты 2,4 ГГц, с 6 по 11 канал в зависимости от модели. При включенной на две минуты в режиме высокой мощности микроволновой печи пропускная способность снизилась до 50 Мбит/с.

После включения беспроводной камеры видеонаблюдения была отмечена нулевая пропускная способность (Рис. 3.1).

На частоте 5 ГГц клиентом в исследование являлся портативный компьютер с адаптером стандарта 802.11n, точкой доступа фирмы «Cisco» серии 3500. Исходная пропускная способность оборудования была измерена в свободном от помех диапазоне на канале 153 и составила 164,8 Мбит/с.

После включения камеры видеонаблюдения работающей в том же диапазоне на 153 канале сигнал был подавлен непрерывными волновыми помехами, и подключение клиента оборвалось. Во время работы видеокамеры пропускная способность в сети составила 0%.

Чтобы зафиксировать влияние скачкообразной смены частоты на сигнал, использовались беспроводные телефоны DECT, работающие на частоте 5 ГГц. Были использованы три телефона: два в режиме разговора и

один, находящийся на базовой станции, подключенной к наземной проводной линии. Во время работы всех телефонов пропускная способность в сети упала до 102 Мбит/с, а качество беспроводной связи, измеренное точкой доступа, составило 86% из возможных 100% (Рис. 3.2) [19].

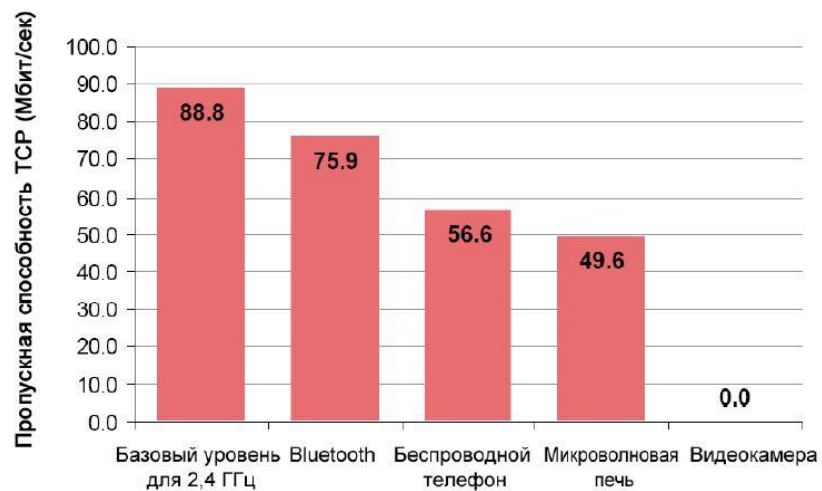


Рис. 3.1 Сравнение исходной пропускной способности беспроводного оборудования Wi-Fi работающего на частоте 2.4 ГГц с пропускной способностью под воздействием помех от работы устройств Bluetooth, беспроводных телефонов DECT, микроволновой печи и видеокамеры

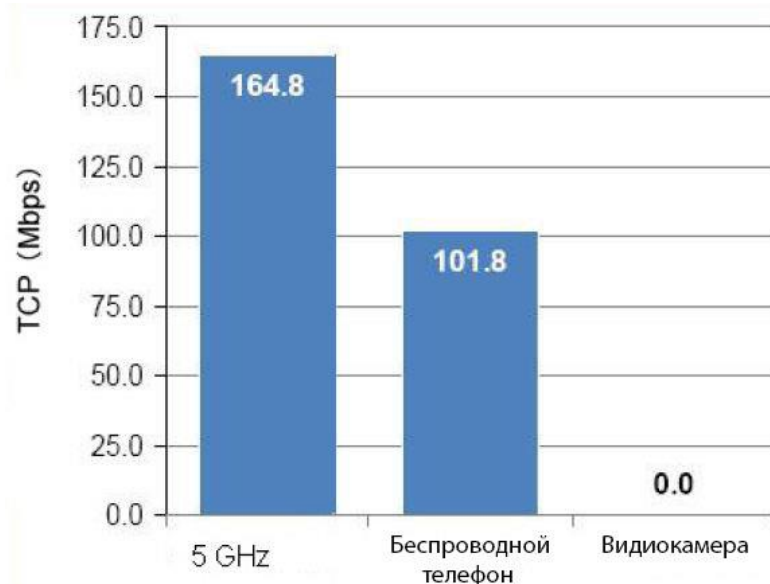


Рис. 3.2 Сравнение исходной пропускной способности беспроводного оборудования Wi-Fi работающего на частоте 5 ГГц с пропускной способностью под воздействием помех от работы беспроводных телефонов DECT и видеокамеры

Таким образом, очевидно, что проблемы электромагнитной совместимости в рассматриваемых диапазонах возникающие по причине сильной загруженности занимаемых частот требуют детального изучения с целью дальнейшего устранения или, по крайней мере, уменьшения проблем вызываемых данными обстоятельствами.

## **2. Способы выявления источников радиоизлучения**

Отталкиваясь от информации, полученной в предыдущих разделах диссертационной работы, можно сформулировать проблемы, возникающие при работе беспроводных систем передачи данных в УВЧ и СВЧ диапазонах.

Во-первых, несмотря на весьма детальную изученность особенностей распространения сигналов в различных средах, возникающих в связи с этим проблем и факторов, влияющих на качество передачи радиосигналов, появление новых радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств практически всегда обусловлено появлением новых проблем.

Во-вторых, чаще всего производителями учитывается воздействие исключительно нового оборудования на системы, работающие в смежном диапазоне частот, без учета износа. Данное обстоятельство влечет за собой весьма серьезное искажение фактов.

Так, например, рассматривая диапазон ISM 2,4 ГГц, на работу Wi-Fi оборудования оказывают воздействие микроволновые печи. С одной стороны, их производители гарантируют отсутствие внешнего паразитного излучения, с другой стороны экспериментальные исследования показывают, что при некоторых условиях микроволновые печи являются достаточно серьезным источником излучения, которое является потенциальной помехой для работы устройств передачи данных.

Исходя из этого, весьма актуальной задачей является экспериментальное исследование спектра электромагнитного излучения

систем передачи данных и потенциального источника помех, а также проведение экспериментов по изучению степени влияния излучения микроволновой печи на работу сетей стандарта IEEE 802.11.

В предыдущем разделе описывалось, что существуют и другие устройства, являющиеся сильными источниками помех в диапазоне 2,4 ГГц, такие как беспроводные камеры видеонаблюдения, беспроводные телефоны DECT, а также оборудование Bluetooth, однако в рамках данной диссертационной работы планировалось проведение экспериментальных исследований исключительно по степени воздействия микроволновых печей на работу систем передачи данных стандарта 802.11g.

Исследования проводились в ГУП ЦЭМС на оборудовании фирмы Rohde & Schwarz с получением спектрограмм и графиков пропускной способности систем передачи данных.

Для снятия спектральных характеристик был использован портативный анализатор спектра Rohde & Schwarz ® FSH3 (Рис.3.3). В качестве антенны использовалась активная направленная антенна R&S&HE300CE (Рис. 3.4).

Активная направленная антенна R&S&HE300CE предназначена для поиска радиопередатчиков и источников помех, в диапазоне от 500 МГц до 7,5 ГГц. Благодаря возможности использования режимов «Пассивный» и «Активный» данная антенна имеет широкий динамический диапазон. Масса антенны около 1 кг. Возможно использование, как для вертикальной, так и для горизонтальной поляризации.

Анализатор спектра R&SFSH3 обладает следующими измерительными функциями:

- измерение занимаемой полосы частот;
- измерение, поглощаемой, проходящей и отраженной мощности;
- измерение напряженности поля;
- измерение мощности в канале;
- измерение уровня радиопомех в режиме приемника и многое другое.

Технические характеристики приведены R&SFSH3 в таблице 3.1.

Для тестирования системы передачи данных стандарта 802.11g использовалось следующее оборудование:

- маршрутизатор D-Link DIR-615, поддерживающий стандарты 802.11b, 802.11g и 802.11n;

- ноутбук под управление с адаптером беспроводной сети Wi-Fi Intel® PRO, Wireless 3945ABG Network Connection;

- адаптер беспроводной сети Edimax EW-7811Un на базе чипсета Ralink 3070.

Использовалось следующее программное обеспечение:

- ноутбук под управлением ОС Microsoft® Windows® 7 Home Extended с последними обновлениями;

- стационарный компьютер под управлением ОС Microsoft® Windows® 7 Домашняя базовая с пакетом обновления 1;

- программное обеспечение Intel® PRO Wireless Wi-Fi версии 13.5.0.0. Драйвер адаптера Wi-Fi Intel® PRO/Wireless 3945ABG Network Connection версии 13.4.0.139;

- беспроводной маршрутизатор D-Link DIR-615 под управлением DD-WRT v24-sp2 build 17084M NEWT от 17 мая 2011 года.

Для тестирования пропускной способности сетевого соединения использовалась свободно распространяемая кроссплатформенная консольная программа iperf версии 2.0.5 под Windows. В качестве графического интерфейса для iperf использовалась оболочка jperf версии 2.0.2.

В качестве источника электромагнитного излучения использовалась бытовая микроволновая печь Samsung G2739NR. Срок эксплуатации печи 4 года. Мощность излучения на частоте 2450 МГц составляет 1100 Вт.

Опыт начался с анализа спектра сигнала точки доступа стандарта 802.11g. К анализатору спектра R&SFSH3 была подключена антенна R&SHE300CE. К точке доступа DIR-615 подключена штатная антенна с усилением 2 дБи. В настройках точки доступа выбран 11 канал (2462 МГц). Мощность на выходе передатчика 35 мВт (15 дБм) (Рис. 3.5).



Рис. 3.3 Анализатор спектра R&SSFSH3



Рис. 3.4 Активная направленная антенна R&SSHE300CE

Таблица 3.1 Технические характеристики R&S&FSH3

Диапазон частот	от 100 кГц до 3 ГГц
Полоса разрешения	от 100 Гц до 1 МГц
Полоса видеофильтра	от 10 Гц до 1 МГц
Средний уровень собственных шумов	тип. -135 дБм (в полосе 100 Гц)
Точка пересечения по интермодуляционным составляющим третьего порядка (TOI)	тип. 13 дБм
Фазовый шум SSB	<-100 дБн (1 Гц)
Типы детекторов	отсчетов, пиковый (макс, мин.), автопиковый. среднеквадратичный
Погрешность измерения уровня	<1,5 дБ. тип. 0,5 дБ
Опорный уровень	от -80 до +20 дБм
Габариты	170 мм x 120 мм x 270 мм
Масса	2,5 кг

В анализаторе спектра были заданы следующие параметры: начальная частота 2400 МГц, конечная частота 2500 МГц.

Расстояние от антенны анализатора спектра до антенны точки доступа - 1м. Данные не передавались. Точка доступа передавала только свой BSSID. На экране анализатора спектра отображались естественные шумы в канале (Рис. 3.6).

Схема, по которой проводилось тестирование компьютерной сети, представлена на Рис. 3.7. В данном сетевом соединении точка доступа подключена к компьютеру сетевым кабелем стандарта 100BASE-TX Fast Ethernet. Скорость соединения «точка доступа-компьютер» составляет 100Мбит/с, что почти в 2 раза превышает пропускную способность сетей 802.11g и позволяет полностью устранить влияние этого сегмента сетевого соединения на результаты теста.

Маршрутизатор	WAN	LAN	WLAN	Загрузка сетей
<b>Беспроводная сеть</b>				
<b>Статус беспроводной сети</b>				
MAC-адрес	00:90:4C:00:00:03			
Радио	Радио включено			
Тип	Точка доступа			
Сеть	Только G			
SSID	WLAN			
Канал	11			
Мощность передатчика	35 mW			
Скорость	54 Mbps			
Шифрование - Интерфейс Wi-Fi	Включено, WPA2 Personal			
Статус PPTP	Отключено			

Рис. 3.5 Настройки точки доступа Wi-Fi

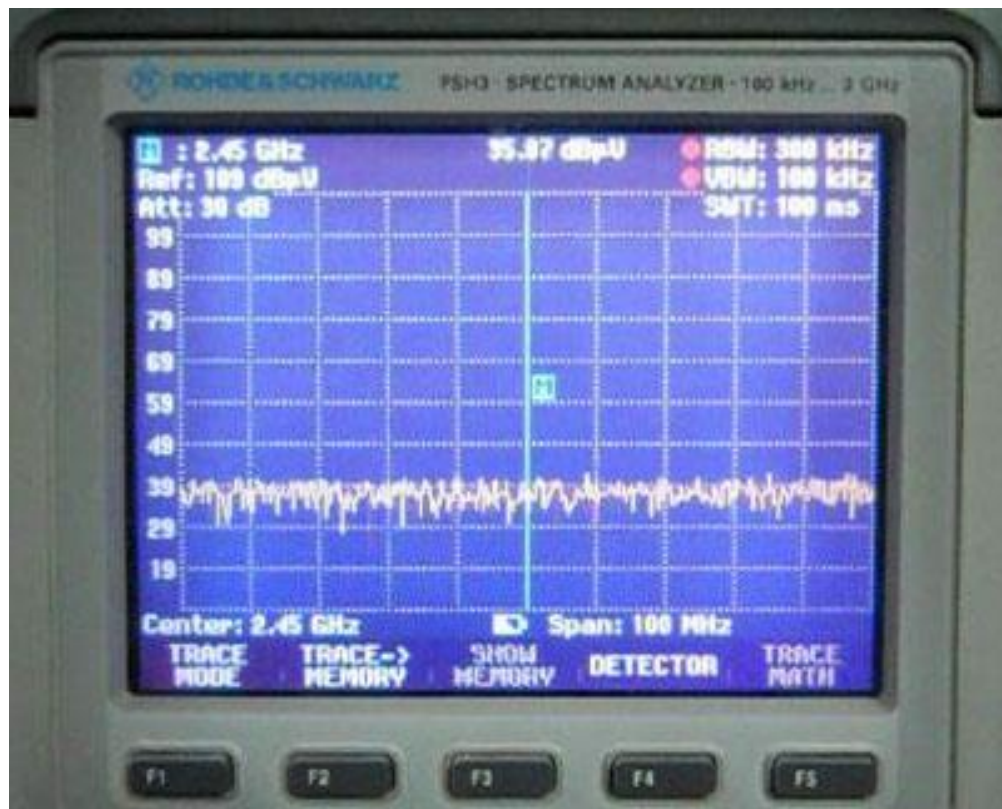


Рис. 3.6 Спектр электромагнитного излучения в диапазоне 2,4...2,5 ГГц

Запускаем на компьютере iperf в режиме сервера, на ноутбуке - в режиме клиента. Анализатор спектра отображает появившееся излучение от точки доступа (Рис. 3.8).



Рис. 3.7 Схема сетевых соединений эксперимента

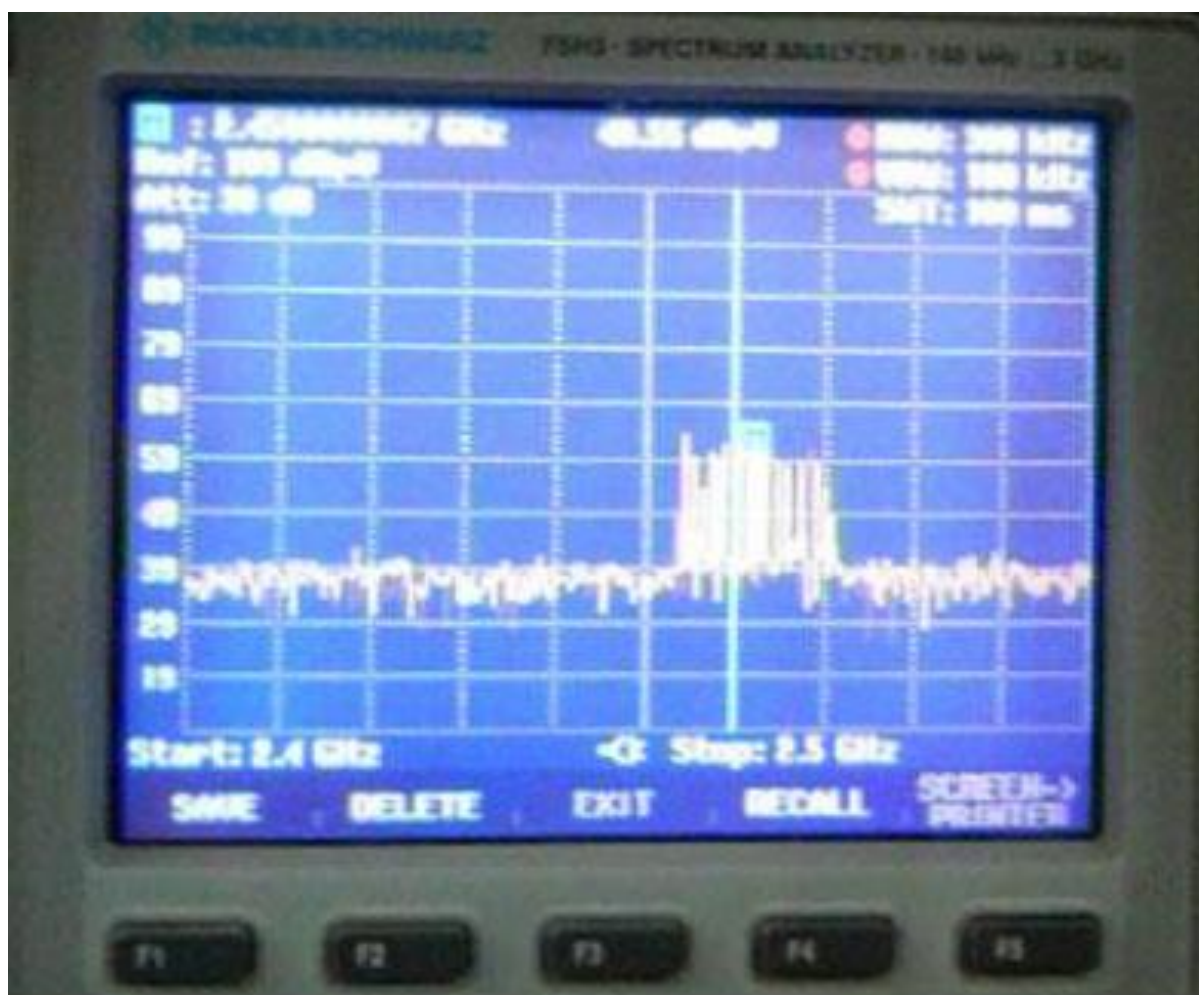


Рис. 3.8 Спектр электромагнитного излучения в диапазоне 2,4...2,5 ГГц

Увеличиваем разрешение анализатора спектра: начальная частота 2450 МГц, конечная частота 2474 МГц. На экране анализатора спектра отображается пачка несущих - поднесущие OFDM стандарта IEEE 802.11g (Рис. 3.9). Количество поднесущих и их уровень изменяются во времени (Рис. 3.10).

Итоговый спектр электромагнитного излучения точки доступа стандарта IEEE 802.11g, работающей на 11 канале, записанный анализатором спектра в режиме регистрации максимальных уровней сигнала за время записи равное одной минуте, представлен на Рис. 3.11.

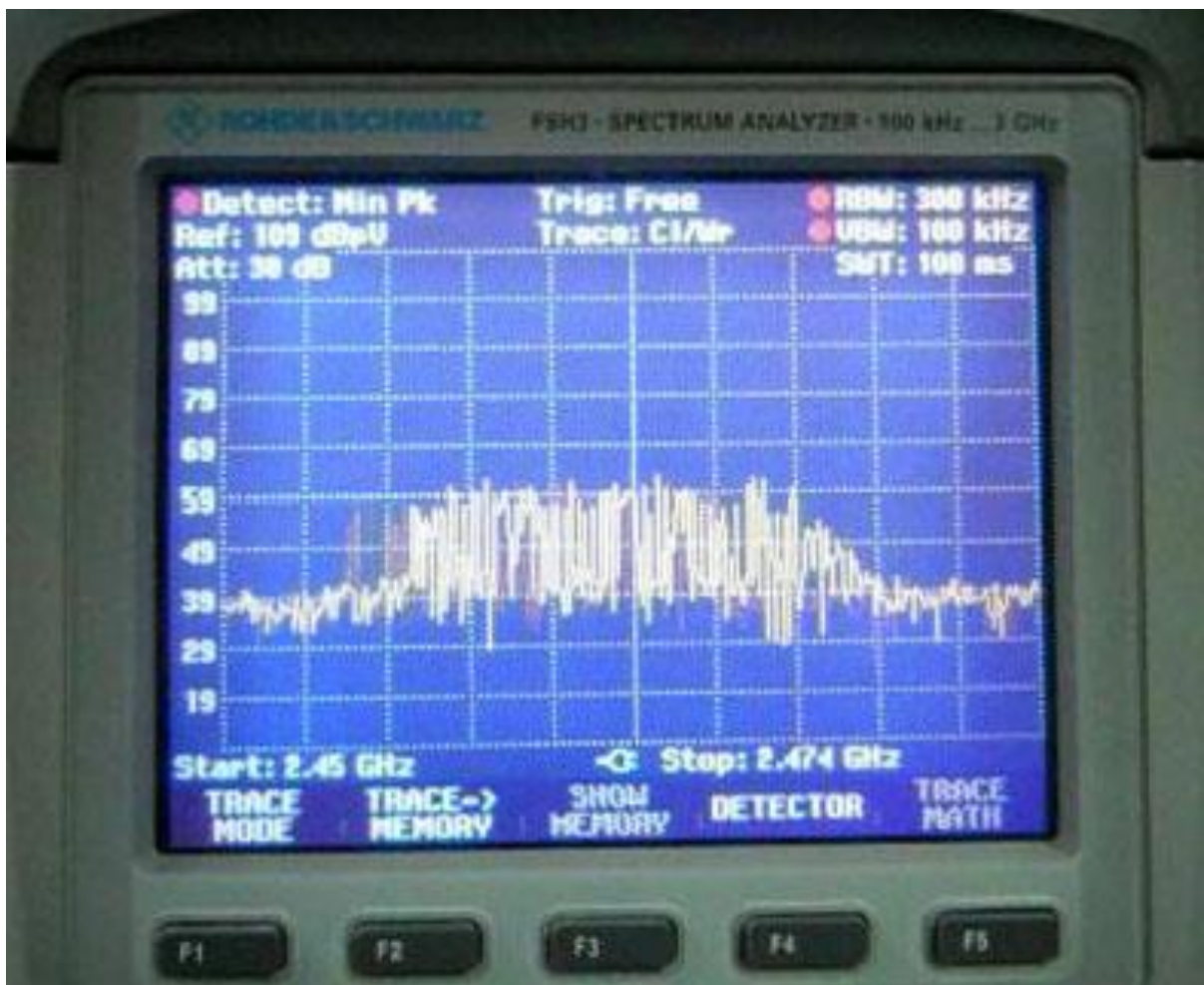


Рис. 3.9 Спектр электромагнитного излучения точки доступа стандарта IEEE 802.11g, работающей на 11 канале (центральная частота 2462 МГц, ширина-24 МГц)

Как говорилось выше, для анализа спектра электромагнитного излучения в качестве его источника была использована бытовая микроволновая печь Samsung G2739NR. Срок эксплуатации печи 4 года. Мощность излучения на частоте 2450 МГц составляет 1100 Вт. В течение этого срока печь использовалась минимум 1 раз в сутки.

На анализаторе спектра выставлены следующие параметры: начальная частота 2400 МГц, конечная частота 2500 МГц. Расстояние от микроволновой печи до приемной антенны около 3 метров. Антенна направлена перпендикулярно дверце печи.

Во время измерения печь работала 1 минуту. Мощность печи была выставлена на максимальное возможное значение. Внутри печи находился стеклянный толстостенный стакан емкостью 250 мл. наполненный водой из-под крана.

Полученный спектр электромагнитного излучения приведен на Рис. 3.12.

Из графика видно, что пик излучения приходится на частоту 2474 МГц и находится на границе полосы 11 канала Wi-Fi и на центральной частоте 13 канала Wi-Fi. Уровень излучения на этой частоте составляет -25,11 дБм. Также на графике отмечены пики на частотах 2437 МГц и 2414 МГц, что соответствует частотам 6 и 1 канала соответственно. Уровень излучения на этих частотах гораздо ниже.

Таким образом, по завершению всех предварительных процедур был поставлен эксперимент по анализу взаимного влияния устройств электромагнитного излучения: беспроводного оборудования Wi-Fi и бытовой микроволновой печи.

В этом эксперименте было проанализировано влияние излучения бытовой микроволновой печи на скорость передачи данных по сети Wi-Fi стандарта 802.11g.

Расположение оборудования приведено на Рис. 3.13.

Расстояние между точкой доступа (2) и ноутбуком (5) равно расстоянию между точкой доступа и микроволновой печью (4). Это расстояние равно 3 метрам. Расстояние между микроволновой печью (4) и ноутбуком (5) равно 2 метрам. Толщина стены (3) около 5 см. материал - деревянная рама, обшитая гипсокартонном 8 мм.

Микроволновая печь развернута плоскостью дверцы перпендикулярно ноутбуку. Ноутбук развернут плоскостью экрана перпендикулярно точке доступа - в этом направлении обеспечивается наибольшее усиление антенной Wi-Fi в крышке ноутбуке. Расстояния обусловлены габаритами квартиры.

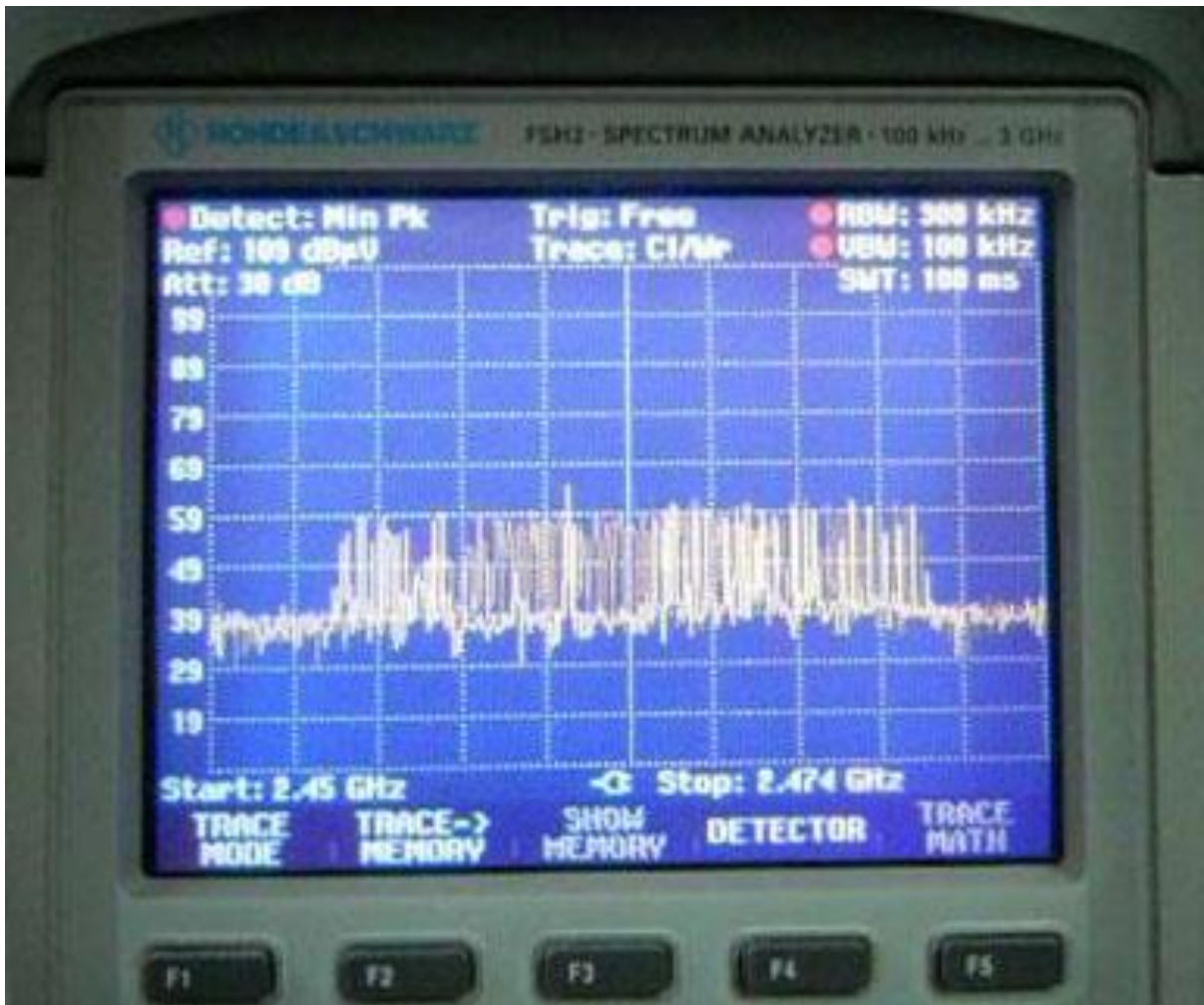


Рис. 3.10 Спектр электромагнитного излучения точки доступа стандарта IEEE 802.11g, работающей на 11 канале (центральная частота 2462 МГц, ширина -24 МГц)

На компьютере (1) установлена копия ПО iperf, сконфигурированная на работу в режиме сервера. Точка доступа соединена с компьютером сетевым кабелем стандарта 100BASE-TX Fast Ethernet. Скорость соединения «точка доступа-компьютер» составляет 100Мбит/с, что почти в 2 раза превышает пропускную способность сетей 802.11g и позволяет полностью устранить влияние этого сегмента сетевого соединения на результаты теста. В самой точке доступа отключены все системы защиты и шифрования трафика для минимизации влияния на скорость передачи данных. Ноутбук подключен к точке доступа. На ноутбуке установлена копия ПО iperf с графической оболочкой jperf. ПО настроено на работу в режиме клиента.

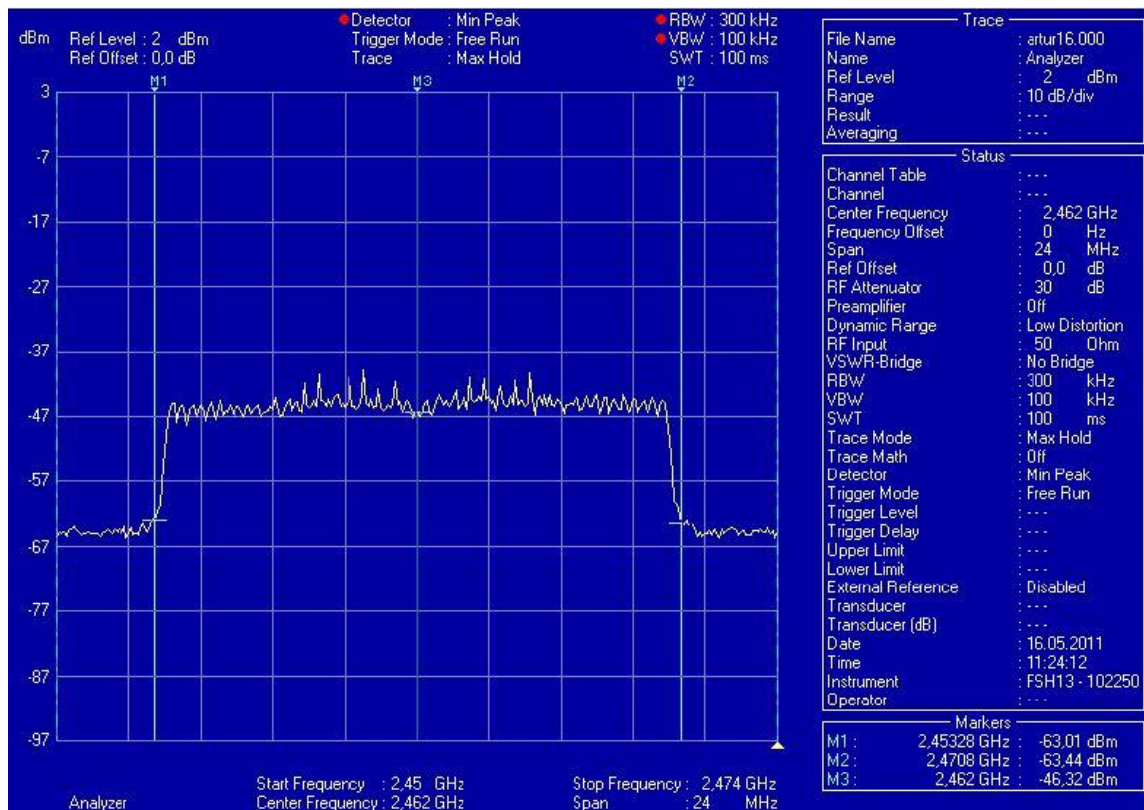


Рис. 3.11 Спектр электромагнитного излучения точки доступа стандарта IEEE 802.11g, работающей на 11 канале (центральная частота 2462 МГц, реальная ширина полосы – 16 дБм равна 18 МГц)

Измерения проводились на каждом из доступных 13 каналов. Каждое измерение проводилось 3 раза при выключенной микроволновой печи и 3

раза при включенной микроволновой печи. Время одного измерения составляет 30 секунд. Затем результаты измерений усреднялись, и строился график пропускной способности канала на каждом из 13 каналов при включенной и выключенной микроволновой печи.

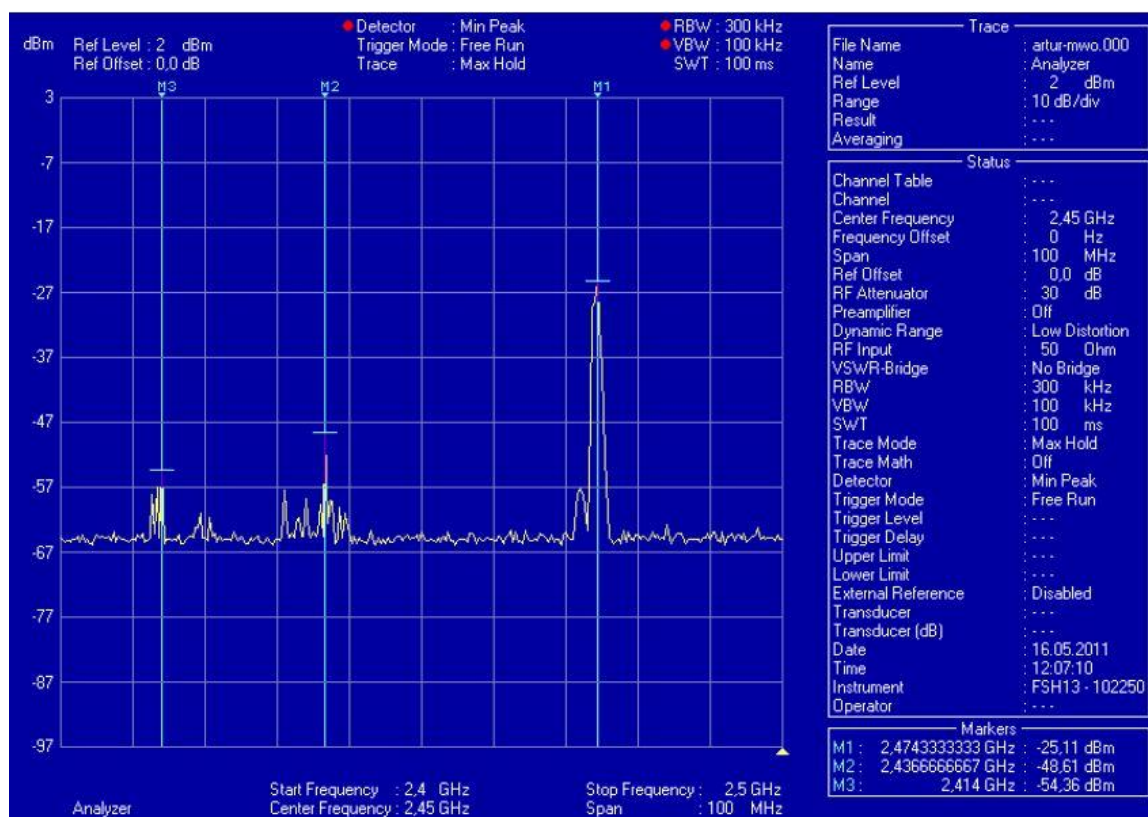


Рис. 3.12 Спектр электромагнитного излучения бытовой микроволновой печи. Маркеры:  $M_1$  - 2474 МГц, -25.11 дБм;  $M_2$  - 2437 МГц, -48.16 дБм;  $M_3$  - 2414 МГц, -54.36 дБм

Трафик передавался по протоколу TCP в направлении от компьютера к ноутбуку как наиболее распространенный вариант в реальных условиях эксплуатации.

В микроволновой печи во время измерения находился стеклянный стакан емкостью 200 мл с обычной водопроводной водой.

Так же был измерен уровень сигнала, принимаемого адаптером ноутбука на каждом из 13 каналов в месте его установки, указанном на Рис. 3.13. Работа микроволновой печи никакого влияния на уровень сигнала не оказала, поэтому отображен усредненный уровень сигнала на каждом канале. Значения уровня сигнала приведены в таблице 3.2. Уровень сигнала

в прямой видимости точки доступа на расстоянии 1 м на всех каналах составляет -22 дБм.

По завершению опыта были получены результаты анализа пропускной способности Wi-Fi соединения, приведенные в таблице 3.3 и на Рис. 3.14, по которым легко определить изменения состояния беспроводного канала Wi-Fi под воздействием микроволновой печи.



Рис. 3.13 Схема расположения оборудования во время проведения теста

Таблица 3.2 Уровень сигнала точки доступа, принимаемый адаптером Wi-Fi

Номер канала	Центральная частота. МГц	Уровень сигнала. дБм
1	2412	-64
2	2417	-71
3	2422	-72
4	2427	-55
5	2432	-52
6	2437	-53
7	2442	-51
8	2447	-56
9	2452	-57
10	2457	-55
11	2462	-55
12	2467	-56
13	2472	-54

Таблица 3.3 Скорости передачи по беспроводному каналу Wi-Fi для выключенной и включенной микроволновой печи

Номер канала	Центральная частота. МГц	Скорость передачи при выключенной микроволновой печи, кбит/с	Скорость передачи при включенной микроволновой печи, кбит/с
1	2412	21439	5241
2	2417	20165	7736
3	2422	21292	12035
4	2427	21364	13712
5	2432	21290	15597
6	2437	21293	16594
7	2442	20620	15566
8	2447	20480	15356
9	2452	20745	15213
10	2457	21438	17759
11	2462	21551	18889
12	2467	21813	8963
13	2472	21404	6905

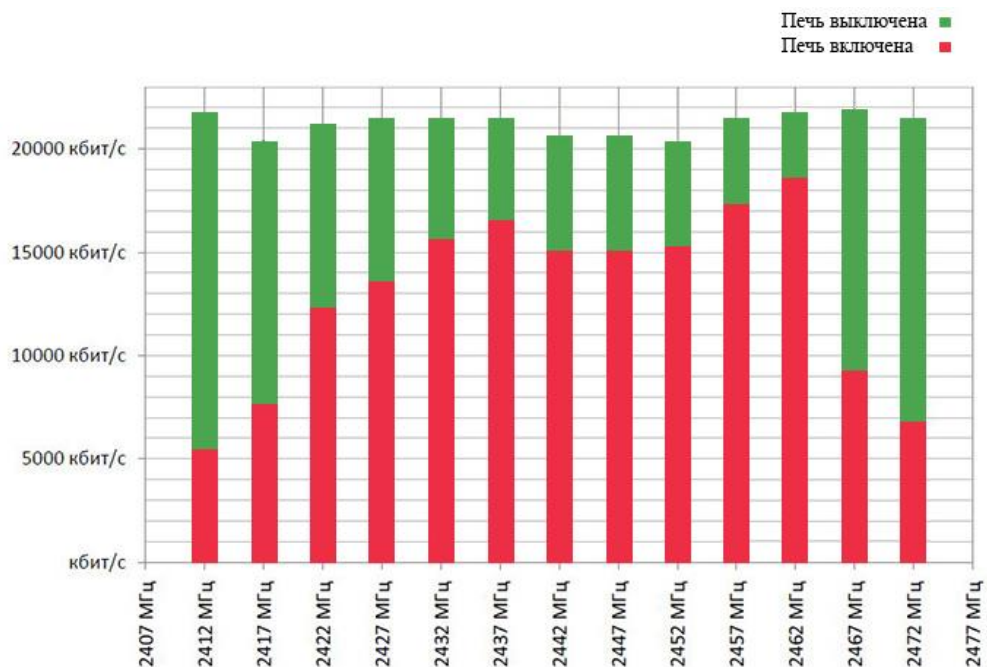


Рис. 3.14 Зависимость скорости передачи данных от канала и состояния источника помехи

### **3. Методы повышения помехозащищенности и электромагнитной совместимости радиосистем и радиоустройств**

Развитие радиотехнических систем различного назначения сопровождается как освоением новых диапазонов частот, так и предоставлением одной полосы частот нескольким радиослужбам. В результате основные спектры, излучаемые и принимаемые отдельными радиосредствами, оказываются частично или полностью перекрывающимися, что приводит к увеличению числа мешающих сигналов (неумышленных помех) и снижению отношения сигнал/шум. На практике неумышленные помехи разделяют на помехи, проникающие в радиотехническую систему через антенну, и помехи, обусловленные, в основном, электромагнитными связями между различными узлами данной системы или между элементами двух или более систем, размещенных вблизи друг от друга. Как правило, проблему электромагнитной совместимости в рамках конкретной радиотехнической системы решают двумя путями:

- разрабатывают более помехозащищенные радиотехнические системы;
- проводят их оптимальное проектирование с точки зрения уменьшения создаваемых ими помех.

Помимо внедрения все более эффективных методов расширения спектра и модуляций, контроля над соблюдением разрешенного значения уровня напряженности электрического поля и мощности, а также помехоустойчивого кодирования для обеспечения высокой помехозащищенности радиотехнических систем конструируются новые классы антенн. К одним из последних можно отнести так называемые адаптивные антенные системы, позволяющие производить подстройку под данную помеховую обстановку таким образом, чтобы свести влияние помех к минимуму. Также в ряде случаев для улучшения электромагнитной

совместимости применяется развязка антенн по поляризации электромагнитного поля. При этом две антенны работают с полями, поляризованными взаимно перпендикулярно, либо, если антенны с вращающейся поляризацией поля, направления вращения векторов электромагнитного поля у обеих антенн противоположны.

Вообще говоря, насколько велика роль антенн в обеспечении электромагнитной совместимости, можно судить по тому факту, что из 30 основных параметров радиоэлектронного оборудования, влияющих на электромагнитную совместимость, 12 параметров определяются антенной системой. В ряде случаев требования к помехозащищенности разрабатываемых антенн оказываются столь жесткими, что их выполнение сопровождается некоторым снижением коэффициента усиления, ухудшением согласования, сужением рабочего диапазона частот и так далее [27].

Что же касается наиболее оптимального проектирования высока потребность в широкополосных, высокоэффективных, технологичных и удобных в эксплуатации экранирующих и радиопоглощающих материалов.

Так при разработке конструкций экранов или поглотителей электромагнитных волн используются различные материалы, обладающие способностью отражать или поглощать электромагнитное излучение в определенном диапазоне частот. Вообще говоря, в природе не существует ни идеально отражающих, ни идеально поглощающих электромагнитную энергию материалов, поэтому подавление электромагнитных излучений чаще всего обеспечивается за счет обоих процессов.

Поглощение электромагнитной энергии происходит за счет диэлектрических, магнитных потерь и потерь на проводимость, которые пытаются максимизировать для достижения максимальной эффективности экранирования. Отражение электромагнитных волн происходит на любых неоднородностях в материале, а при конструировании экранов определяется различием волновых сопротивлений среды распространения волны и экрана.

К радиоотражающим материалам относятся различные металлы. Чаще всего используются железо, сталь, медь, латунь, алюминий. Металлические экраны известны уже давно и широко используются. Они отличаются высокой эффективностью на радиочастотах, которая увеличивается при повышении частоты падающего электромагнитного излучения, и технологически выполняются в виде сплошных и перфорированных листов, сеток, решеток, трубок и могут быть нанесены в виде тонкопленочных покрытий.

Экранирующие свойства листового металла выше, чем сетки, сетка же удобнее в конструктивном отношении, особенно при экранировании смотровых и вентиляционных отверстий, окон, дверей и так далее. Защитные свойства сетки зависят от величины ячейки и толщины проволоки: чем меньше величина ячеек, чем толще проволока, тем выше ее защитные свойства.

Однако металлические экраны обладают одним существенным недостатком, связанным с их высокой электропроводностью: высоким коэффициентом отражения, обусловленным большим различием волнового сопротивления свободного пространства и экрана. Кроме того, эффективность таких экранов очень сильно зависит от качества и надежности монтажа электрических контактов, при нарушении которых появляются области переизлучения электромагнитных волн. В свою очередь, эффективность перфорированных и сетчатых экранов падает с повышением частоты, что также ограничивает область их применения.

Для экранирования электромагнитных полей за счет отражения электромагнитных волн могут применяться и другие проводящие электрический ток материалы, такие, как углеродные волокна, проводящие полимеры и т.д. Недостатки таких экранов аналогичны недостаткам экранов, изготовленных из металлов и сплавов.

Явление отражения электромагнитного излучения при использовании проводящих экранов довольно часто оказывает отрицательное влияние,

связанное с формированием переотраженной волны, которая воздействует на экранируемый объект, вызывая изменение его параметров. Это обуславливает необходимость учитывать параметры экрана при разработке радиоэлектронных устройств, а также принимать специальные меры по защите биологических объектов. Поэтому особое внимание уделяется разработке экранов и покрытий, эффективность которых достигается за счет поглощения электромагнитного излучения.

В конструкциях поглощающих электромагнитное излучение экранов и покрытий используются явления рассеивания электромагнитных волн потери на проводимость при использовании проводящих материалов, а также магнитные и диэлектрические потери в среде. Для получения поглотителей электромагнитных волн используются ферриты, ферромагнитные материалы и диэлектрики. Также ведутся разработки новых радиопоглощающих покрытий на основе сегнетоэлектриков, однако их эффективность невысокая, и они далеки от практического использования.

В связи с развитием технологии получения композиционных материалов, свойства которых могут варьироваться в широких пределах путем подбора материала связующего и наполнителя, особое внимание уделяется гетерогенным радиопоглощающим средам.

Материалы для поглотителей электромагнитного излучения получают методами порошковой металлургии и с использованием технологии композиционных материалов. В качестве исходного сырья применяются неорганические порошки и волокна, закрепленные в связующем на основе неорганических (оксидов алюминия, титана и др.) или органических (смолы, полимеры, пластмассы, парафины) материалов. Такие материалы обладают как высокой эффективностью экранирования, так и большим значением коэффициента поглощения электромагнитных волн, однако часто их применение ограничено узким частотным диапазоном.

Последние исследования в области разработки композиционных материалов направлены на расширение частотного диапазона

электромагнитных экранов и получение многофункциональных конструкций. Использование дисперсных растворов с управляемыми магнитными свойствами также представляется перспективным, однако еще далеко от практического применения из-за сложности синтеза, низкой технологичности, относительно невысокой стабильности или токсичности существующих магнитных жидкостей [20].

Из рассмотренной в разделе информации следует, что для обеспечения качественной электромагнитной обстановки в УВЧ и СВЧ диапазонах необходимо разрабатывать все более и более помехозащищенные радиотехнические системы в силу повышения их загруженности, а также обеспечивать оптимальное проектирование с точки зрения уменьшения создаваемых ими помех.

### **Выводы к главе III**

В третьей главе сделан обзор и рассмотрены особенности проблем взаимного влияния радиоустройств с точки зрения электромагнитной совместимости, проведены эксперименты по определению степени влияния источников электромагнитного излучения на беспроводные телекоммуникационные системы, а также рассмотрены методы повышения помехозащищенности и электромагнитной совместимости радиосистем и радиоустройств.

## Заключение

С каждым днем сфера применения радиоустройств и электронных приборов в различных областях человеческой деятельности стремительно расширяется. Насыщенность пространства различными электромагнитными излучениями настолько увеличилась, что, несмотря на все попытки регламентации радиослужб, проводимыми международными и национальными организациями, уровень помех оказывается столь интенсивным, что заметно ухудшает качество работы радиосистем.

В связи с этим актуальной задачей является исследование особенностей электромагнитного излучения радиосистем УВЧ и СВЧ диапазонов.

В данной диссертационной работе рассмотрены особенности радиоизлучения наиболее распространенных технологий в УВЧ и СВЧ диапазонах, таких как семейство цифрового телевидения DVB, различные поколения сотовой связи вплоть до 4-го, технологии, использующие нелицензируемый диапазон ISM.

Приведены особенности распространения сигналов в различных средах, возникающие в связи с этим проблемы, факторы, влияющие на качество передачи радиосигналов, а также угрозы безопасности в радиосистемах.

Исследованы особенности проблем взаимного влияния радиоустройств с точки зрения электромагнитной совместимости, проведены эксперименты по определению степени влияния источников электромагнитного излучения на беспроводные телекоммуникационные системы, а также рассмотрены методы повышения помехозащищенности и электромагнитной совместимости радиосистем и радиоустройств.

Значимость полученных результатов заключается в возможности проведения дальнейших исследований и на их основе улучшения электромагнитной обстановки в УВЧ и СВЧ диапазонах.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

## **I. Законы Республики Узбекистан**

1. Закон Республики Узбекистан «О связи». Ведомости Верховного Совета Республики Узбекистан, 1992 г., № 3, ст.159; Ведомости Олий Мажлиса Республики Узбекистан, 1998 г., №3, ст. 38; 2000 г., №5-6, ст. 153; 2003 г., №5, ст. 67.

2. Закон Республики Узбекистан «О телекоммуникациях». Ведомости Олий Мажлиса Республики Узбекистан, 1999 г., №9, ст. 219; Собрание законодательства Республики Узбекистан, 2004 г., №37, ст. 408; 2005 г., №37-38, ст. 279; 2006 г., №14, ст. 113, 2007 г., №35-36, ст. 353; 2011 г., №52, ст. 557.

3. Закон Республики Узбекистан «О радиочастотном спектре». Ведомости Олий Мажлиса Республики Узбекистан, 1999 г., №1, ст. 16; 2003 г., №5, ст. 67.

4. Закон Республики Узбекистан «Об информатизации». Ведомости Олий Мажлиса Республики Узбекистан, 2004 г., №1-2, ст. 10.

## **II. Указы и постановления Президента Республики Узбекистан, Постановления Кабинета Министров**

5. Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационно-коммуникационных технологий». 21 марта 2012 г., №13, ст. 139.

6. Программа дальнейшего внедрения и развития информационно-коммуникационных технологий в Республики Узбекистан на 2012-2014 годы. Постановление Президента от 21.03.2012 г., №ПП-1730.

### **III. Произведения Президента Республики Узбекистан И.А.**

#### **Каримова**

7. Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана / И.А. Каримов. – Т.: Узбекистан, 2009 г. – 48 с.

8. Каримов И.А. Обеспечить поступательное и устойчивое развитие страны – важнейшая наша задача. – Т. «Узбекистан» - 2009 г. – 187 с.

### **IV. Основная литература**

9. Левченко В.Н. Спутниковое телевидение. Санкт-Петербург, 1998 год.

10. Регламент радиосвязи.- Международный союз электросвязи (ITU), 2008 год.

11. А.Л. Гельгор, Е.А. Попов. Системы цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T. Санкт-Петербург, издательство политехнического университета, 2011 год.

12. Техническая регламентация «Цифровое телевидение. Системы, основные параметры и методы измерений» RT 38370700-003:2009

13. Вишнеvский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – Москва: Техносфера, 2005 год.

14. Шахнович И., Портной А. Беспроводные сети Wi-Fi.

15. В.В. Козловский, И.И. Софиенко. Экранирующие свойства современных материалов. Киев 2009 год.

16. Ф.Б. Черный. Распространение радиоволн. Москва, 1972 год.

17. Распространение радиоволн. Ташкент, ТУИТ, 2010 год.

18. Мерит Максим, Дэвид Поллино. Безопасность беспроводных сетей. Москва, 2004 год.

19. Отчет по результатам лабораторного тестирования DR 100409С. Сравнительное тестирование технологии Cisco CleanAir и решений конкурентов. Miercom, 2010 год.

20. М.А. Быховский. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Москва, 2006 года.

#### **V. Периодические издания, статистические сборники и отчеты**

21. Сардин И. Проблемы функционирования беспроводных устройств Bluetooth и IEEE 802.11 в нелицензируемом диапазоне частот ISM 2,4 ГГц и пути их решения. Беспроводные технологии №3, 2006 год.

22. Губенко В.А., Жданов А.А. Электромагнитное излучение, его источники и методы защиты. Ташкент, 2012 год.

23. Губенко В.А., Жданов А.А. Особенности электромагнитного излучения в нелицензируемом диапазоне ISM 2,4 ГГц и его источники. Ташкент, 2013 год.

#### **VI. Интернет сайты**

24. <http://broadcasting.ru/wiki/index.php?title=DVB-S>.

25. <http://broadcasting.ru/wiki/index.php?title=DVB-C>.

26. <http://kb-sb.ru/pub/10/49/>.

27. [http://library.tuit.uz/lectures/afu/anten\\_fider\\_ustr/lecture\\_15.htm](http://library.tuit.uz/lectures/afu/anten_fider_ustr/lecture_15.htm).