

МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

К защите допустить

Зав. кафедрой

« ____ » _____ 2015г.

**Выпускная
квалификационная работа бакалавра**

на тему: **«Миниатюрные антенны телевидения и
беспроводных систем передачи данных»**

Выпускник _____ Панахидинов М.В.
(подпись) (ф.и.о.)

Руководитель _____ Губенко В.А.
(подпись) (ф.и.о.)

Рецензент _____
(подпись) (ф.и.о.)

Консультант
по БЖД и Э _____ Амурова Н.Ю.
(подпись) (ф.и.о.)

Ташкент-2015

Ushbu bitiruv malakaviy ishda, miniatyuryaviy tele antennalarning, hamda simsiz ahborotni uztuvchi sistema antennalarining xususiyatlari va tuzilmalari korib chiqiladi. Bu ishda pechatlash asosida o'rnatilgan mikropoloskovoy antennalarga muhim e'tibor qaratiladi. Ularni hisoblash, kompyuter loyihalashtirish, tayyorlash, ishlab chiqarish, sozlash, yo'nalish va elektrik xususiyatlarini kabi yo'llari korib chiqiladi

В данной Выпускной квалификационной работе рассматриваются конструктивные особенности и свойства миниатюрных антенн телевещания и беспроводных систем передачи данных. Особое внимание в работе уделяется микрополосковым антеннам, выполненным на основе печатного монтажа. Рассматриваются способы их расчета, компьютерного моделирования, изготовления, настройки и исследования направленных и электрических характеристик.

In this graduation qualified work are considered structural features and properties of telecasting miniature antennas and wireless data transmission systems. Special attention is paid to microstrip antennas made on the basis of printed mounting. There are considered methods of their calculation, computer modeling, production, settings and research of directed and electrical characteristics.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	
1. АНТЕННЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ТЕЛЕВЕЩАНИИ И БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	
1.1. Передающие антенны телевидения.....	
1.2. Приемные антенны телевидения.....	
1.3. Антенны беспроводных систем передачи данных.....	
2. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕНН	
2.1. Направленные свойства.....	
2.2. Электрические свойства.....	
3. ЗАДАЧИ МИНИАТЮРИЗАЦИИ АНТЕНН	
3.1. Требования к современным антеннам.....	
3.2. Проблемы миниатюризации.....	
3.3. Способы и методы уменьшения размеров антенн.....	
3.4. Вопросы компьютерного моделирования миниатюрных антенн.....	
4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЭКОЛОГИЯ	
4.1. Взаимодействие человека и техносферы.....	
4.2. Монотонность.....	
4.3. Организация баз эколого-экономической информации.....	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
ЛИТЕРАТУРА	

ВВЕДЕНИЕ

С достижением независимости в Республике Узбекистан началось бурное развитие различных сфер экономики, науки, техники, народного хозяйства. Особое внимание уделяется развитию в нашей стране отрасли связи и телекоммуникации. Была поставлена и успешно решается задача обеспечения нашего населения всеми видами услуг телекоммуникаций и связи, причем с самым высоким качеством обслуживания.

Технологии должны приносить людям новые знания, а также давать возможность доступного и безграничного общения, и потребители должны чувствовать абсолютный комфорт при использовании этих технологий.

Одним из лидеров в области телекоммуникаций является национальный оператор связи АК “Узтелеком”. Качество и надежность связи являются важными необходимостями для наших потребителей, и получение их является главной задачей не только АК “Узтелеком”, но и всех телекоммуникационных операторов, предоставляющих свои услуги населению Узбекистана.

В 2010 году Президентом Республики Узбекистан было принято постановление “О создании Межведомственной рабочей группы по вопросам перехода на цифровое телерадиовещание в Республике Узбекистан”.

В целях обеспечения повышения эффективности использования радиочастотного спектра и планомерного перехода с аналогового телевидения на цифровой формат в 2012 году было принято постановление “О Государственной программе по техническому переходу на цифровое телевидение в Республике Узбекистан”.

Реализация данного постановления способствовало мощному развитию и внедрению наземного цифрового эфирного телевидения по всей Республике Узбекистан.

В настоящее время в нашей стране транслируется более сорока телевизионных каналов в цифровом качестве. Ведется трансляция телевизионных каналов в формате высокой четкости HD. В дальнейшем планируется переход на новый цифровой стандарт.

Еще одним направлением развития телекоммуникационных технологий является технология широкополосного высокоскоростного доступа к сети Интернет. Интернет прочно и навсегда вошел в нашу жизнь. Разработано множество устройств, которые обеспечивают пользователям моментальный доступ к данным, размещенных в Интернете.

Трудно представить современного человека без современных гаджетов, связывающих его с мировой базой данных. Любое современное устройство (смартфоны, планшеты, ноутбуки) оснащено Wi-Fi модулем. С помощью него пользователь получает неограниченный доступ к данным в Интернете.

В нашей стране получение и передачи информации посредством системы Wi-Fi стало таким же обыденным делом, как и просмотр телевизионных передач в цифровом качестве.

Наряду с развитием технологий развиваются и устройства в них используемые. В первую очередь это связано с удобством их использования – они должны быть multifunctional и эргономичны. Эргономичность подразумевает малогабаритность устройств. Любое беспроводное устройство включает в себя антенну, она играет немаловажное значение при уменьшении размеров этого устройства. Следовательно, чем меньше размеры антенны, тем можно сделать меньшим устройство, в котором она установлена. При этом следует иметь в виду, что параметры антенн должны обеспечивать качественную работу беспроводных устройств.

Таким образом, задача уменьшения размеров антенн современных телекоммуникационных устройств является очень актуальной.

В данной Выпускной квалификационной работе рассмотрены антенны цифрового телевидения и беспроводных систем передачи данных, их особенности, достоинства и недостатки. Особое внимание уделено вопросам

уменьшения размеров этих антенн без ухудшения их технических характеристик.

В первой главе Выпускной квалификационной работы рассматриваются антенны телевидения и беспроводных систем передачи данных, их конструктивные особенности, достоинства и недостатки.

Во второй главе Выпускной квалификационной работы рассматриваются параметры и характеристики антенн телевидения и беспроводных систем передачи данных, их направленные и электрические свойства, а также требования, предъявляемые к этим антеннам.

В третьей главе Выпускной квалификационной работы рассматриваются вопросы миниатюризации антенн телевидения и беспроводных систем передачи данных, формулируются проблемы миниатюризации таких антенн, анализируются их возможности, способы и методы уменьшения размеров антенн.

В четвертой главе Выпускной квалификационной работы рассматриваются вопросы охраны труда и безопасности жизнедеятельности.

1. АНТЕННЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ТЕЛЕВЕЩАНИИ И БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

1.1 Передающие антенны телевидения

Антенна — устройство, предназначенное для приема или излучения радиоволн. В зависимости от назначения антенны могут быть приемными, передающими и приемопередающими. Передающая антенна преобразовывает электромагнитную энергию, полученную с передатчика, в электромагнитное излучение и распространяется в пространстве как электромагнитная волна. На приемной стороне тоже нужно иметь антенну. В этом режиме антенна преобразовывает падающую на нее электромагнитную волну в высокочастотный ток, поступающий во входные цепи приемника. Таким образом, антенна является преобразователем тока в электромагнитное поле и наоборот.

Поскольку в настоящее время в нашей республике полным ходом идет переход на цифровой формат телевидения, все дальнейшие рассуждения будут касаться именно систем цифрового телевидения.

Передающая антенна цифрового телевидения должна обеспечивать качественный прием в любых условиях, как на стационарные телевизоры, так и на мобильные устройства. Главной проблемой при этом является рельеф местности (разнообразные объекты естественного и искусственного происхождения), который влияет на прием сигнала. В независимости от условий местонахождения видео и звук в телевизорах должны всегда присутствовать, причем с высоким качеством. Главной задачей является обеспечение населения качественным приемом всех транслируемых телевизионных каналов в пределах зоны гарантированного приема сигналов.

Это условие в значительной мере обеспечивают технические характеристики передающего оборудования.

Одним из основных компонентов такого оборудования на передающей стороне является антенна. От параметров передающей антенны сильно зависит качество услуг, предоставляемых операторами цифрового телевидения.

Обычно на передающих телевизионных центрах применяются антенные комплексы, состоящие из нескольких передающих антенн. К примеру, на Ташкентском передающем телевизионном центре используются панельные антенны. Антенны размещены на высоте более двухсот метров и расположены таким образом, что шесть панельных антенн с горизонтальной поляризацией направлены на юг, юго-запад (такая установка называется п-образной), а четыре антенны с вертикальной поляризацией – на север. Все это делалось для того, чтобы цифровой сигнал охватывал всю зону покрытия в пределах уверенного приема.

Существует понятие «мертвая зона». Это зона, куда сигналы не проходят или сильно ослабевают. Главной задачей антенны является максимальное, равномерное покрытие зоны обслуживания. Правильное расположение антенны дает возможность избегать проблемы «мертвых зон». Поэтому передающие антенны устанавливаются на высоких мачтах, оптимизируя их направленные свойства.

Существует огромное количество разных видов передающих устройств, выпускаемых зарубежными фирмами. Нужно внимательно относиться к выбору передающей антенны. Антенну нужно выбирать, учитывая ее технические характеристики. Справится ли антенна с задачей равномерного покрытия зоны обслуживания и обеспечится ли при этом высокое качество работы системы телевидения - все эти вопросы должны быть учтены при выборе передающей антенны [2].

В качестве примера можно привести антенную систему, на основе панелей UTV-01 (рис. 1.1.а), предназначенную для передачи телевизионных

сигналов с горизонтальной поляризацией в диапазоне дециметровых волн (от 470 до 860 МГц). Ее диаграмма направленности показана на рис. 1.1.б.

Антенна предназначена для эксплуатации на открытом воздухе при температуре от -40 до +45 °С. Она устанавливается на опоре с сечением от 500x500 мм до 640x640 мм. На рис. 1.2 показана антенная система на основе панелей UTV-01. В состав данной антенной системы входят делители мощности, комплект кабелей с креплениями, опора для установки.



Диапазон рабочих частот	470–860 МГц
КСВН	≤ 1,1
Разъем	7/8"
Максимальная мощность	2,5 кВт
Поляризация	горизонтальная
Коэффициент усиления относительно полуволнового вибратора	12 дБ
Входное сопротивление	50 Ом
Ширина диаграммы направленности	в горизонтальной плоскости: ± 32° в вертикальной плоскости: ± 12°
Размеры	1000 x 450 x 280 мм
Вес	15,4 кг
Ветровая нагрузка	150 км/час
Максимальная скорость ветра	220 км/час
Материал	нержавеющая сталь (рефлектор) медь покрытая серебром (внутренние проводники) стекловолокно (обтекатель)

а)



б)

Рис. 1.1. Панельная антенна UTV-01: а – антенна и ее технические характеристики, б - диаграммы направленности антенны

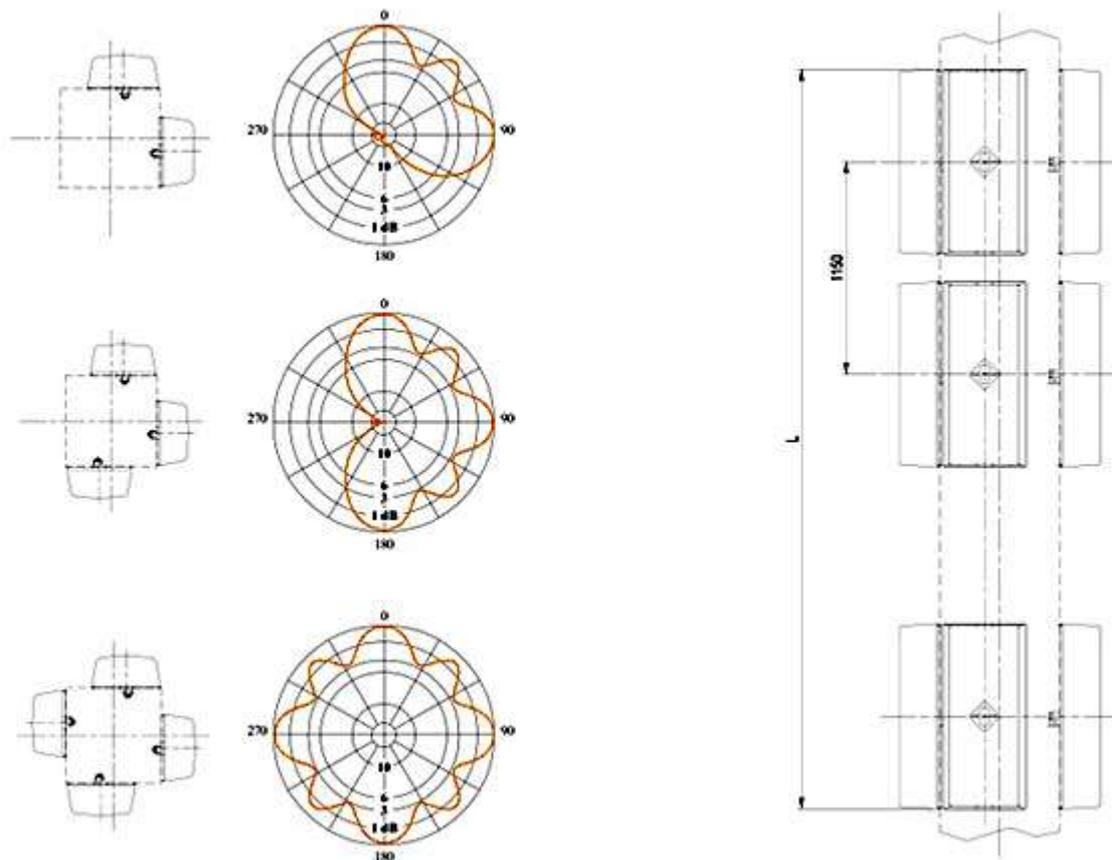


Рис. 1.2. Антенные системы на основе панельной антенны UTV-01 и их диаграмма направленности

Передающая панельная антенна АТУ-Р45 (рис. 1.3) предназначена для работы в качестве направленной передающей антенной в диапазоне дециметровых волн. На базе антенны АТУ-Р45 можно реализовать антенную систему с круговой или специально сформированной диаграммой направленности [2].

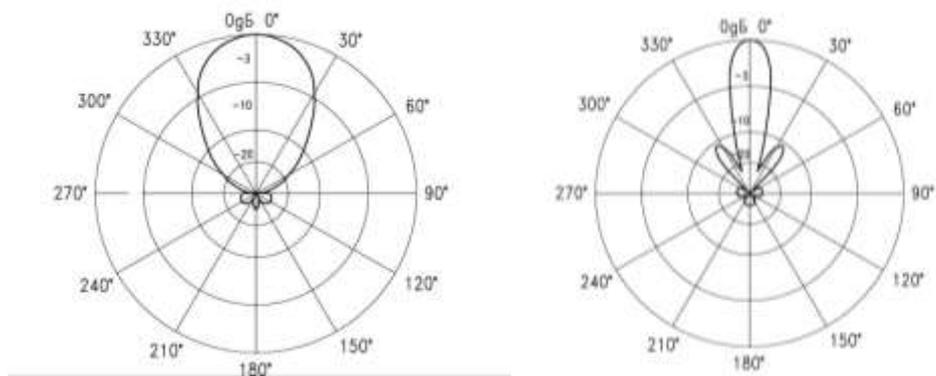
Антенна имеет широкую полосу частот и покрывает весь дециметровый диапазон. Широкая полоса частот позволяет антенне

совместно работать с несколькими передатчиками на разных частотах, которые объединены при помощи устройства сложения. Максимально допустимая мощность одной панели достигает 5 кВт, а для всей антенной системы - 20 кВт и более. Антенна изготовлена из нержавеющей стали и имеет защитный кожух. Допустимая скорость ветра в месте подвеса антенны – 220 км/час. Диаграмма направленности антенны АТУ-Р45 для одной панели показаны на рис. 1.4, а для четырех панелей показаны на рис. 1.5.



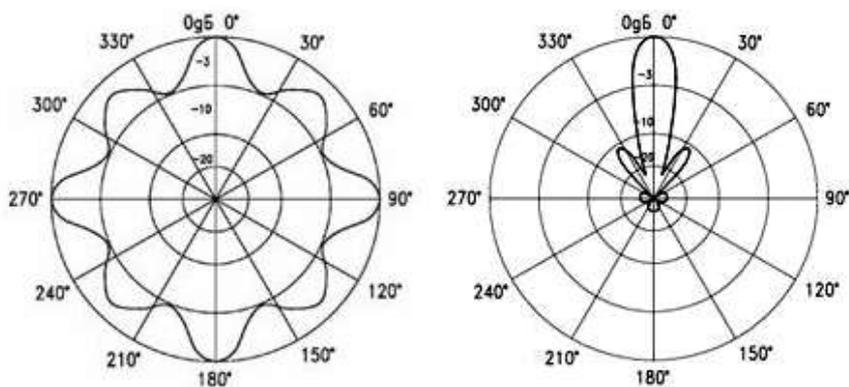
Диапазон рабочих частот	470...862 МГц
Поляризация	горизонтальная
Коэффициент усиления, дБ	14,2
Диаграмма направленности (по уровню половинной мощности)	24° в вертикальной плоскости 64° в горизонтальной плоскости
Максимальная входная мощность, кВт	3
КСВ в диапазоне рабочих частот, не выше	1,2
Волновое сопротивление, Ом	50
Масса, кг, не более	16,8
Габариты, мм, не более	1000x450x280

Рис. 1.3. Передающая антенна АТУ-Р45 и ее технические характеристики



а) б)

Рис. 1.4. Диаграмма направленности одной антенны АТУ-Р45
а – в горизонтальной плоскости, б – в вертикальной плоскости



а) б)

Рис. 1.5. Диаграмма направленности антенной системы из четырёх антенн
АТУ-Р45

а – в горизонтальной плоскости, б – в вертикальной плоскости

Рассмотренные антенны являются классическим примером построения антенных систем современных передающих телевизионных центров. Однако данное решение не является единственным способом организации цифрового телевидения. Существуют множество других способов и решений для организации передачи цифрового телевидения.

Выбор антенны зависит от местоположения передающей станции, от условий, в которых строится и эксплуатируется телевизионная система, от финансовых затрат, от задач, поставленных перед разработчиками системы цифрового телевидения. Как говорилось выше, при выборе передающей антенны нужно учитывать все факторы, влияющие на распространение сигналов [2].

Кроме панельных антенн можно применять штыревые, директорные и логопериодические антенны, некоторые другие виды вибраторных антенн (рис. 1.6). Каждая антенна имеет свои недостатки и достоинства, их необходимо учитывать при построении системы эфирного наземного цифрового телевидения.

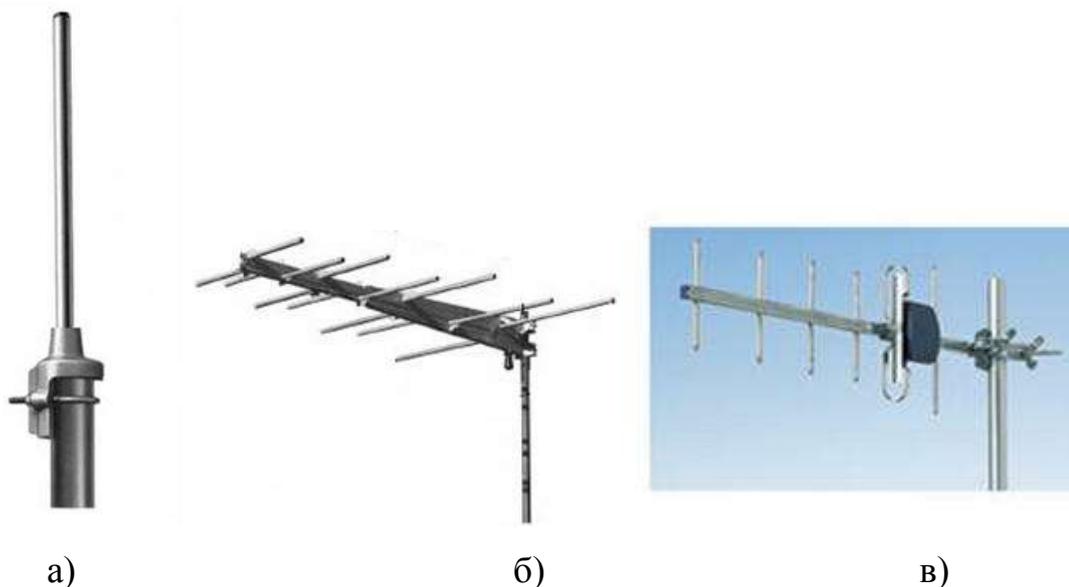


Рис. 1.6. Передающие антенны, используемые в системах цифрового телевидения: а - штыревая, б - логопериодическая, в - директорная

1.2 Приемные антенны телевидения

Качество приема эфирного цифрового телевидения зависит не только от передающего оборудования, используемого в телевизионном центре, но и

от того, каким оборудованием абонент будет пользоваться на приемной стороне.

Для приема телевизионных программ цифрового вещания нужно иметь телевизионный приемник (тюнер) с поддержкой стандарта DVB-T и формата сжатия MPEG-4, который подключается к телевизору. Еще необходима антенна дециметрового диапазона, в котором ведется телевещание. Конечно же, качество приема зависит от типа приемной антенны и ее места расположения.

В местах с уверенным приемом (высоким уровнем напряженности поля) можно использовать слабонаправленные приемные антенны - например, штыревые антенны, разновидности вибраторных антенн, либо антенные решетки (рис. 1.7-1.10).



Рис. 1.7. Комбинированная комнатная приемная антенна



Рис. 1.8. Логопериодическая комнатная приемная антенна



Рис. 1.9. Директорная внешняя приемная антенна

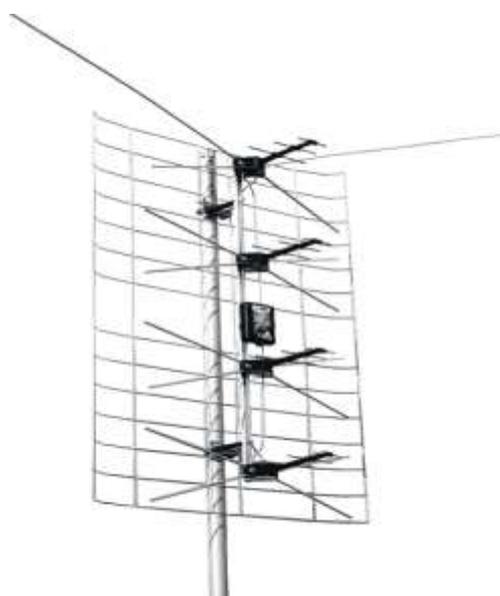


Рис. 1.10. Внешняя приемная антенна в виде антенной решетки

Если расстояние от передающего центра до места приема велико, отсутствует прямая видимость или условия приема далеки от оптимальных, следует использовать не комнатные антенны, а стационарные наружные (внешние) антенны. Чаще всего это пассивные антенны. Если же они не дают положительных результатов, то необходимо использовать активные антенны с собственным малошумящим усилителем.

Большинство приемных антенн имеют низкую помехозащищенность, небольшой коэффициент усиления, довольно большие потери в питающем

кабеле. Такие антенны принимают аналоговые сигналы телевидения с плохим качеством. В цифровом же телевидении нет понятия плохое качество - сигнал либо есть, либо его нет. В данном случае антенна с плохой помехозащищённостью не является хорошим вариантом для приема цифрового телевидения. Они позволяют принимать аналоговые сигналы, и то с невысоким качеством. Но для удовлетворительного приема сигналов цифрового телевидения, даже вблизи границы зоны обслуживания, они непригодны.

Обычно населением приобретаются те антенны, которые имеются на рынке телевизионного оборудования. Преимущество дается тем видам антенн, которые имеют доступные цены и приемлемы по массогабаритным показателям.

Для удобства эксплуатации и снижения стоимости следует стремиться уменьшать размеры антенн, упрощать их конструкцию, естественно, без ухудшения их технических характеристик. В настоящее время в продаже в нашей республике представлено довольно много моделей приемных антенн, многие из которых, к сожалению, не могут обеспечить качественный прием сигналов цифрового телевидения.

Выбор антенн осуществляется путем сравнения их технических параметров: коэффициента усиления, коэффициента стоячей волны в питающем фидере, ширины главного лепестка диаграмма направленности и т.д.

Необходимо учитывать, что при установке приемной антенны в местах с плотной городской застройкой основной упор следует делать на ее направленные свойства – на форму главного лепестка, наличие боковых и заднего лепестков.

Условием качественного приема цифрового сигнала является обеспечение необходимого отношения сигнал/шум на входе телевизионного приемника. В местах, где напряженность поля близка к граничным значениям, следует устанавливать антенну, которая имеет высокие

направленные свойства, т.е. обладающую высокой пространственной избирательностью.

1.3 Антенны беспроводных систем передачи данных

В последние годы широкое распространение получили системы передач данных по беспроводным каналам связи. Эти системы Wi-Fi и Wi-Max.

Wi-Fi сети широко используются корпоративными клиентами: в гостиницах, в местах отдыха, в учебных заведениях и т.п., т.е. там, где необходимо иметь высокоскоростной доступ к Интернету.

Преимущество Wi-Fi систем заключается в том, что можно разворачивать сеть без прокладки кабеля (что само по себе уже уменьшает стоимость развертывания сети). Это позволяет пользователям с мобильными устройствами иметь постоянный и удобный доступ к сети. Таким образом, главное достоинство подобных систем - мобильность, пользоваться Интернетом можно там, где удобно и комфортно. Еще одним плюсом Wi-Fi сетей является то что, в пределах зоны обслуживания в Интернет одновременно могут выходить множество пользователей, имеющих мобильные гаджеты с функцией Wi-Fi.

Как и во всех беспроводных устройствах телекоммуникации, антенна является важной частью Wi-Fi системы. Именно антенна определяет зону покрытия сети (точка доступа к беспроводным сетям), т.е. где точка доступа излучает сигнал, который могут принять другие беспроводные устройства связи.

Здесь нужно учесть важную деталь: с помощью конфигурации антенны (размеры, форма) можно задавать зону покрытия беспроводной точки доступа.

Главной проблемой антенн, которые идут в комплекте вместе с беспроводными системами передачи данных являются их недостаточно большие направленные свойства. Следовательно, зона покрытия системы ограничена определенными размерами. В пределах комнаты (офиса) одна точка доступа в состоянии обеспечить надёжную связь беспроводных клиентов, но что касается клиентов за стенами комнаты, то устойчивость и скорость передачи данных значительно уменьшаются.

Штатные антенны в основном излучают сигнал равномерно во все стороны в горизонтальной плоскости. Поэтому желательно устанавливать устройство Wi-Fi по центру комнаты или офиса. Наилучшее расположение обеспечит связь между пользователями сети в пределах излучения антенны. Если ее расположить у стены, то сигнал будет распространяться не только в пределах этой зоны, но также и за стенку, хотя и с большими ослаблениями

Для секториального обслуживания следует использовать специальные направленные антенны, которые излучают сигнал только в одном направлении. Это дает возможность увеличения дальности распространения сигнала в одном направлении и ослабления распространения сигнала в других направлениях. Такой способ распространения сигнала не дает возможности полного охвата помещения, но позволяет передавать сигналы на довольно большие расстояния.

Все антенны Wi-Fi устройств можно разделить на два класса: антенны для наружного применения (outdoor) и антенны для внутреннего применения (indoor). Эти антенны отличаются друг от друга своими габаритами и коэффициентом усиления. Антенны наружного применения больше по размерам и предусматривает форму крепления к столбу или к стене. Высокий коэффициент усиления в этих антеннах достигается за счет малой ширины главного лепестка диаграммы направленности. Для связи двух беспроводных сетей применяются внешние антенны. Антенны должны устанавливаться в зоне прямой видимости, т.е. антенны должны «смотреть» друг на друга.

Indoor антенны (внутренние антенны) меньше по размерам и обладают более низким коэффициентом усиления. Такие антенны устанавливаются на самом оборудовании или на столе.

Все точки доступа стандарта 801.11/b/g/n комплектуются с малогабаритными штыревыми антеннами, которые могут быть как съёмными, так и стационарными. На рынке часто можно увидеть в комплекте стационарную антенну. Штыревая антенна эта самая простая антенна. Ее часто называют несимметричным вибратором.

Если расположить штыревую антенну вертикально, то в горизонтальной плоскости она будет излучать во все стороны равномерно. В горизонтальной плоскости такая антенна является всенаправленной. Антенна не может излучать в одном определенном направлении. Излучения вдоль оси антенны отсутствуют. Для штыревых антенн максимальное усиление достигается в плоскости, перпендикулярной антенн и проходящей через ее центр.

Длина активной части штатной штыревой антенны всего лишь 31 мм, потому что частотный диапазон для Wi-Fi устройств составляет от 2400 МГц до 2473 МГц. Соответственно длина волны будет варьироваться от 12,12 до 12,49 см, а четверть длины волны примерно равна 31 мм. Длина штыревой антенны обычно выбирается равной четверти длины волны. Диаграмма направленности в трехмерном пространстве, а также диаграмма направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях штыревой антенны изображены на рис. 1.11.

По диаграмме направленности и по характеристикам штыревой антенны можно сделать вывод о том, что оптимальный вариант ее установки - в центре офиса или квартиры. Такая установка даст возможность максимально охватить сигналами все пространство внутри офиса или комнаты, где располагается Wi-Fi устройство.

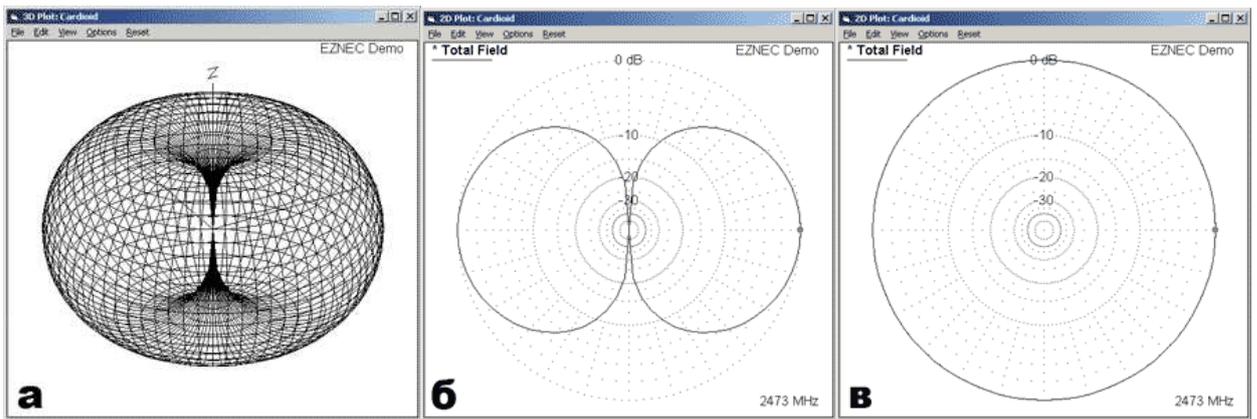


Рис. 1.11. Диаграмма направленности штыревой антенны:
 а – в трехмерном пространстве, б – в вертикальной плоскости,
 в – в горизонтальной плоскости

Штыревую антенну можно модифицировать вручную, увеличив ее направленные свойства. К примеру, можно установить параллельно или перпендикулярно к антенне металлический экран-рефлектор. Такие антенны не выпускаются производством. Если установить рефлектор перпендикулярно к антенне, то коэффициент усиления антенны с длиной $\lambda/4$ увеличится до 5 дБи. Без рефлектора коэффициент усиления штыревой антенны не превышает 2 дБи. Как показано на рис. 1.12, антенна с перпендикулярным рефлектором формирует диаграмму направленности, сориентированную вниз. Таким образом, такую конструкцию целесообразно устанавливать в центре помещения на потолке.

Если установить рефлектор параллельно штыревой четвертьволновой антенне, то ее диаграмма направленности существенно поменяется в горизонтальной плоскости - в этой плоскости она перестает быть ненаправленной. Вид диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости зависит от расстояния между антенной и рефлектором, а также от длины самой антенны.

Диаграмма направленности штыревой четвертьволновой антенны с параллельным рефлектором показана на рис. 1.13.

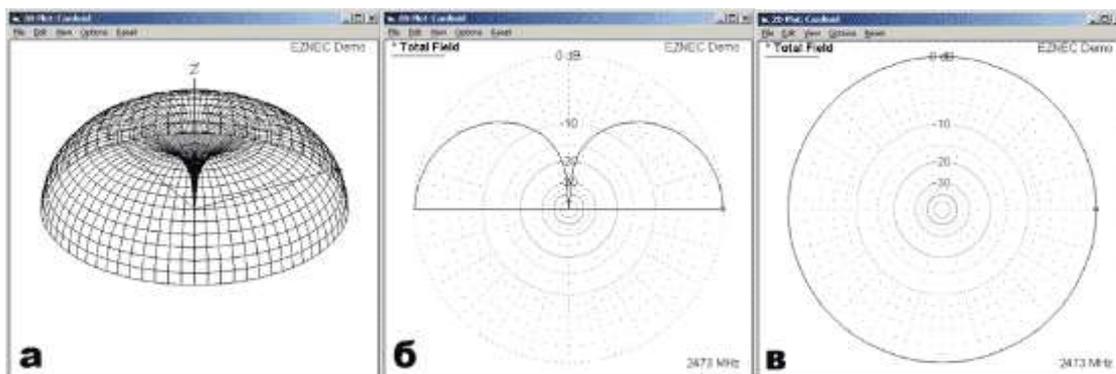


Рис. 1.12. Диаграмма направленности штыревой четвертьволновой антенны с перпендикулярным отражателем: а – в трехмерном пространстве (антенна расположена вдоль оси Z , а рефлектор находится в плоскости XY), б – в вертикальной плоскости, в – в горизонтальной плоскости

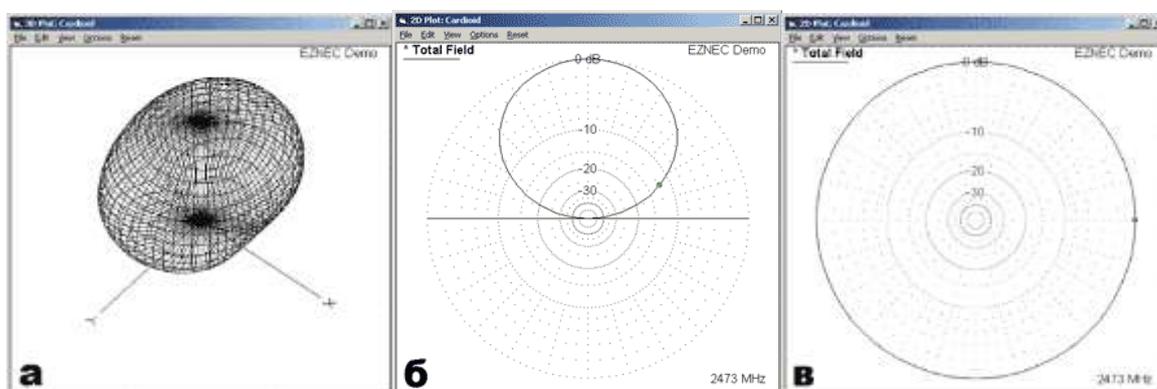


Рис. 1.13. Диаграмма направленности штыревой четвертьволновой антенны с параллельным отражателем: а – в трехмерном пространстве (антенна находится вдоль оси X , рефлектор находится в плоскости XY), б – в вертикальной плоскости, в – в горизонтальной плоскости

Для антенны с относительной длиной $\lambda/4$ с параллельным рефлектором находящемся на расстоянии $\lambda/4$ от нее коэффициент усиления будет лежать в пределах 7 дБи. Такую антенну лучше всего размещать возле стены или в углу помещения.

Штыревые антенны считаются самыми распространенными антеннами Wi-Fi устройств. Однако с помощью штыревой антенны нельзя конфигурировать Wi-Fi сеть.

При постройке различных сетей Wi-Fi, используются разные типы антенн. При оптимальном расположении антенн можно достичь высокоскоростной передачи данных в любую точку в пределах зоны покрытия сети. В результате не будет необходимости тратить деньги и усилия на приобретение внешних антенн и усложнения сети [3].

WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) - телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов).

В основе технологии WiMAX лежит протокол IEEE 802.16, который в отличие от других технологий радиодоступа, обеспечивает высокоскоростные соединения на больших расстояниях даже при отсутствии прямой видимости объекта на отраженном сигнале.

Технология WiMAX позволяет работать в любых условиях, в том числе в условиях плотной городской застройки, обеспечивая высокое качество связи и скорость передачи данных.

Система WiMAX состоит из двух основных частей:

- базовой станции WiMAX, которая может размещаться на высотном объекте - здании или вышке;
- приёмника WiMAX с антенной и картами PC Card.

Соединение между базовой станцией и клиентским приёмником производится в низкочастотном диапазоне 2...11 ГГц. Данное соединение в идеальных условиях позволяет передавать данные со скоростью до 20 Мбит/с и не требует наличия прямой видимости между станцией и пользователем. Этот режим работы базовой станции WiMAX близок широко используемому стандарту 802.11 (Wi-Fi), что допускает совместимость уже выпущенных клиентских устройств и WiMAX.

В состав устройств WiMAX входят антенны, обладающие гораздо большими направленными свойствами, чем в системах Wi-Fi. В качестве антенн WiMAX в основном применяются антенные решетки (панельные антенны), причем, как на стороне базовых станций, так и на стороне пользователей. Коэффициент усиления этих антенн может достигать 15 дБи и более. Диаграмма направленности (рис. 1.14) представляет собой достаточно узкий главный лепесток, наличие боковых и, особенно, заднего лепестков крайне нежелательно, это необходимо для обеспечения однонаправленного режима приема-передачи сигналов.

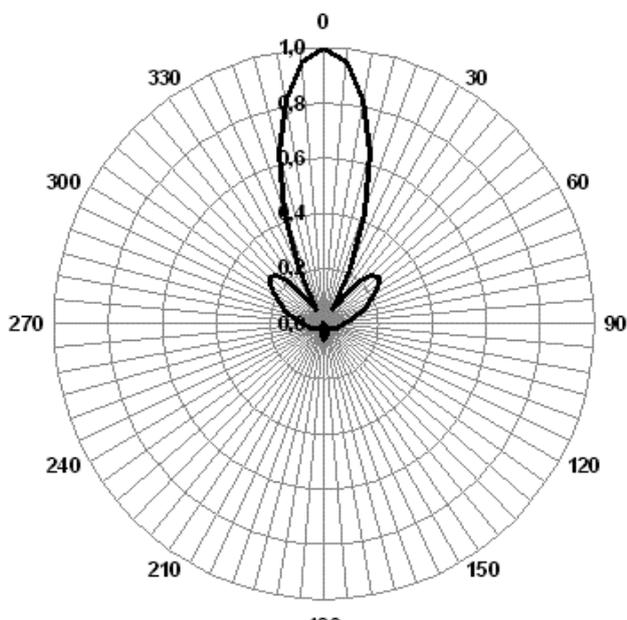


Рис. 1.14. Диаграмма направленности антенны WiMAX

2. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕНН

2.1. Направленные свойства антенн

В состав любого передающего устройства входит антенна, которая выполняет функцию излучателя. Антенну можно рассматривать как излучатель, состоящий из бесконечно большего числа элементарных излучателей.

В зависимости от характеристики направленности антенны бывают различного типа. Существуют следующие типы антенн: ненаправленные антенны (изотропные антенны), слабонаправленные антенны, направленные антенны и узконаправленные антенны.

Изотропная антенна - это воображаемая (идеальная) антенна, которая излучает электромагнитную энергию во все направления одинаково. Эта антенна не обладает направленными свойствами в какой-либо плоскости, т.е. ее диаграмма направленности имеет форму круга во всех плоскостях. Коэффициент направленного действия изотропного излучателя равен единице.

Ненаправленная антенна имеет почти круговую диаграмму направленности, но в одной плоскости. К этим антеннам можно отнести, в качестве примера, вертикальный полуволновой вибратор (рис. 2.1).

Диаграмма направленности такой антенны показана на рис. 2.2, из нее видно, что в горизонтальной плоскости это круг, а в вертикальной – восьмерка.

В реальных условиях форма диаграммы направленности несколько меняется вследствие отражения излучаемых антенной волн от окружающих ее предметов [4].

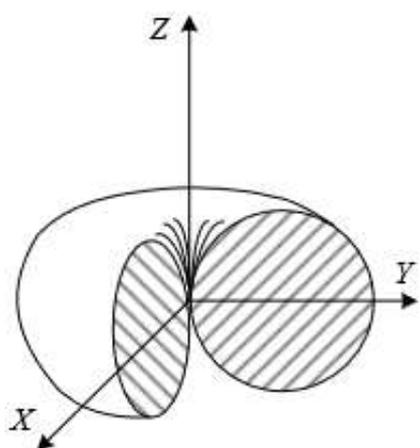


Рис. 2.1. Излучение полуволнового вибратора

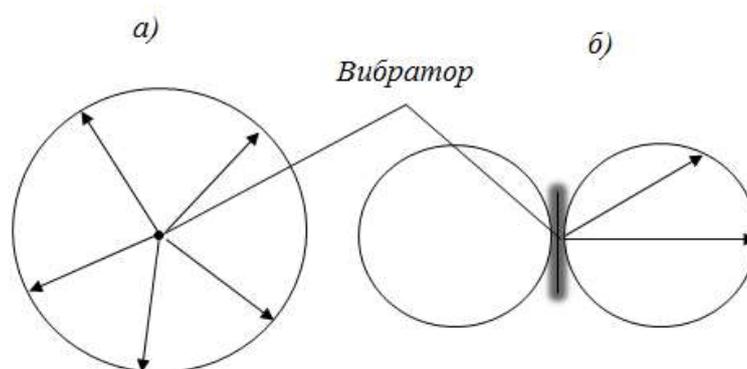


Рис. 2.2. Диаграмма направленности вибратора: а – в экваториальной плоскости, б – в меридиональной плоскости

К слабонаправленным антеннам относятся более сложные вибраторные антенны. Они излучают в одном направлении, но слабо. Примером таких антенн могут быть система двух связанных вибраторов. Коэффициент направленного действия таких антенн не превышает 3...5 дБи.

Направленные антенны — антенны, имеющие достаточно узкий главный лепесток, следовательно, их коэффициент направленного действия выше, чем в случае слабонаправленных антенн, и может достигать 5...15 дБи.

К направленным антеннам относятся директорные, логопериодические, спиральные и другие типы антенн.

Остронаправленные антенны формируют в главном направлении узкую диаграмму направленности, таким образом, их коэффициенту направленного действия может достигать весьма больших значений. Например, к узконаправленным антеннам относятся зеркально-параболические антенны, чей коэффициент направленного действия может достигать 40 и более дБи. Поэтому такие антенны предназначаются для работы на очень больших расстояниях, например, при организации спутниковой связи.

Кроме зеркально-параболических антенн к остронаправленным антеннам относятся рупорные, линзовые, антенные решетки различной структуры.

Выражение для расчета напряженности поля, создаваемой антенной в какой-то точке пространства имеет вид [5]

$$E(\theta, \varphi) = Af(\theta, \varphi)\exp[i\psi(\theta, \varphi)], \quad [2.1]$$

где A – комплексный множитель, не зависящий от направления на точку наблюдения, в него входит $\frac{\exp(-ikr)}{r}$, где r - расстояние от антенны до точки наблюдения;

$f(\theta, \varphi)$ – амплитудная характеристика направленности;

$\psi(\theta, \varphi)$ – фазовая характеристика направленности;

θ и φ - угловые координаты точки наблюдения.

Данная формула дает понять, что чем больше расстояние между антенной и точкой наблюдения, тем меньше напряженность поля в этой

точке. Слабонаправленные антенны формируют слабую напряженность поля на дальних расстояниях, остронаправленные - высокую.

Характеристика направленности – это зависимость напряженности поля антенны, создаваемой ей в точке наблюдения, от угла наблюдения на эту точку. Характеристика направленности антенны может быть представлена в табличном, формульном или графическом виде. Графическим видом представления характеристики направленности является диаграмма направленности.

Диаграмма направленности по мощности определяется зависимостью плотности потока мощности, формируемой антенной в пространстве, от направления на точку наблюдения. Плотность потока мощности представляет собой мощность, проходящую через единичную площадку, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны. Поэтому диаграмма направленности по мощности пропорциональна $f^2(\theta, \varphi)$.

Максимальное значение пространственной диаграммы направленности равен единице и называется нормированной диаграммой и обозначается как $F(\theta, \varphi)$. Формула нормированной ДН имеет вид

$$F(\varphi, \theta) = f(\varphi, \theta) / f_{\text{макс}}(\varphi, \theta). \quad [2.2]$$

Зависимость фазы формируемого электромагнитного поля от направления в пространстве (на одинаковых расстояниях), называется фазовой характеристикой направленности $\psi(\theta, \varphi)$. Графическое изображение этой зависимости называется фазовой диаграммой направленности антенны.

Направленные свойства антенны обычно оценивается по ширине главного лепестка диаграммы направленности. Под шириной главного лепестка диаграммы направленности подразумевается угол между направлениями, вдоль которых напряженность поля уменьшается в $\sqrt{2}$ раз,

по сравнению с напряженностью поля в направлении максимума излучения, а поток мощности уменьшается вдвое (рис. 2.3). Такой угол носит название «ширина главного лепестка диаграммы направленности по уровню половинной мощности излучения» ($2\theta_{0,5}$).

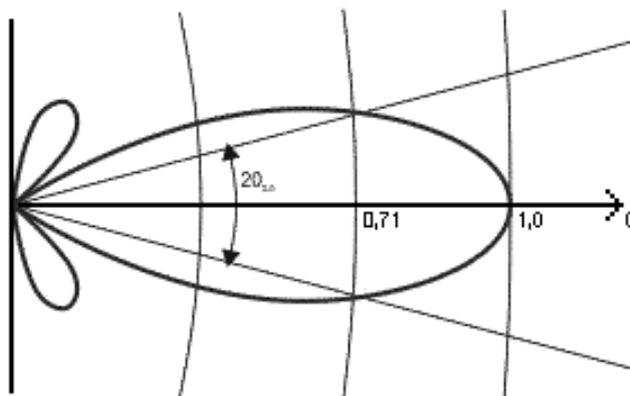


Рис. 2.3. Пример определения ширины главного лепестка диаграммы направленности

В некоторых случаях под шириной главного лепестка подразумевается угол между направлениями, вдоль которых напряженность поля равна нулю. Такой угол носит название «ширина главного лепестка диаграммы направленности по уровню нулевой мощности излучения» ($2\theta_0$).

На рис. 2.4. приведены наиболее распространенные диаграммы направленности антенн – игольчатая и веерная. Игольчатая соответствует остронаправленным антеннам. Веерные диаграммы направленности обычно в горизонтальной плоскости имеют малую ширину (сжаты), а в вертикальной - большую.

Антенны также характеризуется коэффициентом равномерности диаграммы направленности, под которым подразумевается отношение

минимального значения напряженности поля к максимальному значению в данной плоскости [6].

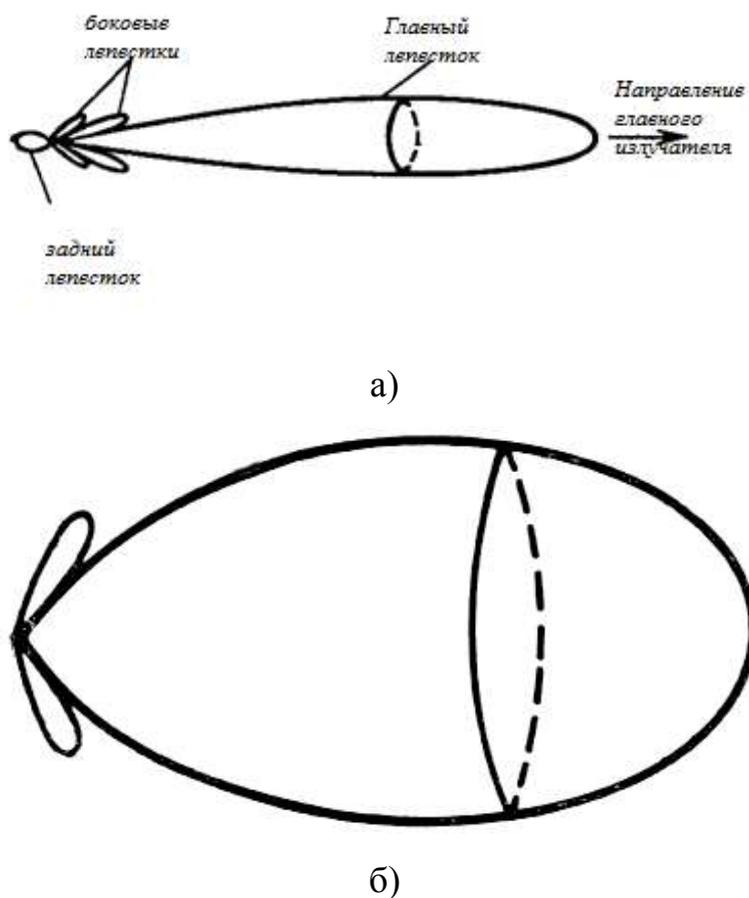


Рис. 2.4. Виды диаграмм направленности в пространстве: а - игольчатая диаграмма направленности, б - веерная диаграмма направленности

Напряженность электрического поля, создаваемого передающей антенной, характеризуется не только величиной и фазой, но и поляризацией, плоскость которой определяется как плоскость, проходящая через направление распространения и вектор напряженности электрического поля.

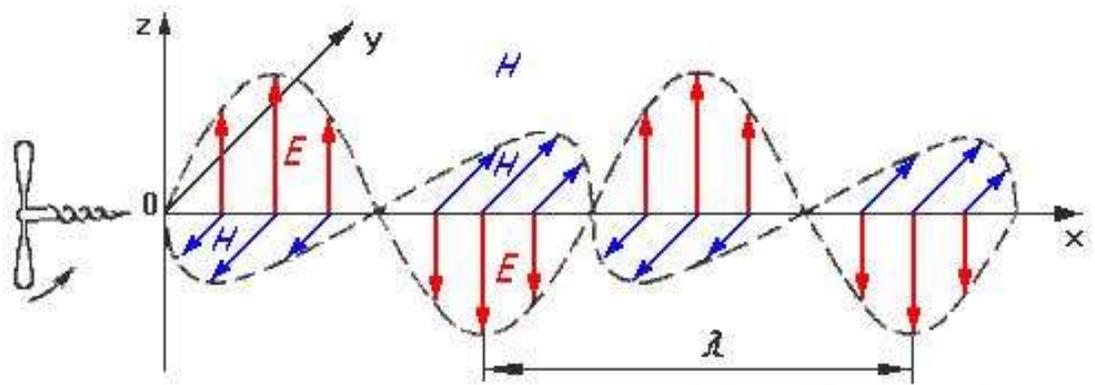
Поляризация излучаемых волн определяется типом антенны и ее положением в пространстве. Вертикальный вибратор излучает вертикально поляризованные волны, а горизонтальный вибратор излучает горизонтально поляризованные волны (рис. 2.5).

В приемном проводе, расположенном вдоль силовых линий электрического поля, возникает Э.Д.С. Если провод ориентирован перпендикулярно силовым линиям электрического поля, то в нем не будет индуцироваться Э.Д.С. в промежуточном случае, когда приемный провод и направление силовых линий электрического поля составляет некоторый угол α , Э.Д.С. наводимой в проводе, будет пропорциональна $\cos\alpha$. Поэтому для наилучшего приема вертикально поляризованных волн следует применять антенну, рассчитанную на прием поля вертикальной поляризации [6].

Помимо электромагнитных полей линейной поляризации известны поля эллиптической поляризации. Поля эллиптической поляризации может быть получено в результате сложения двух линейно поляризованных полей. Электрические векторы повернуты в пространстве друг относительно друга, и по фазе не совпадают. Такое поля называется эллиптически поляризованным потому, что конец вектора напряженности электрического поля имеет в пространстве форму эллипса за период высокой частоты.

Этот эллипс при распространении волн в свободном пространстве лежит в плоскости, перпендикулярной направлению распространения и называется поляризационным эллипсом или поляризационной характеристикой. Отношение малой оси эллипса поляризации к большой называют коэффициентом равномерности поляризационной характеристики, а зависимость его от направления – поляризационной диаграммой направленности антенны.

Коэффициент равномерности поляризационной характеристики может иметь значения от нуля до единицы. В первом случае он характеризует поле линейной поляризации, а в другом случае эллипс поляризации обращается в круг и поле называется поляризационным по кругу.



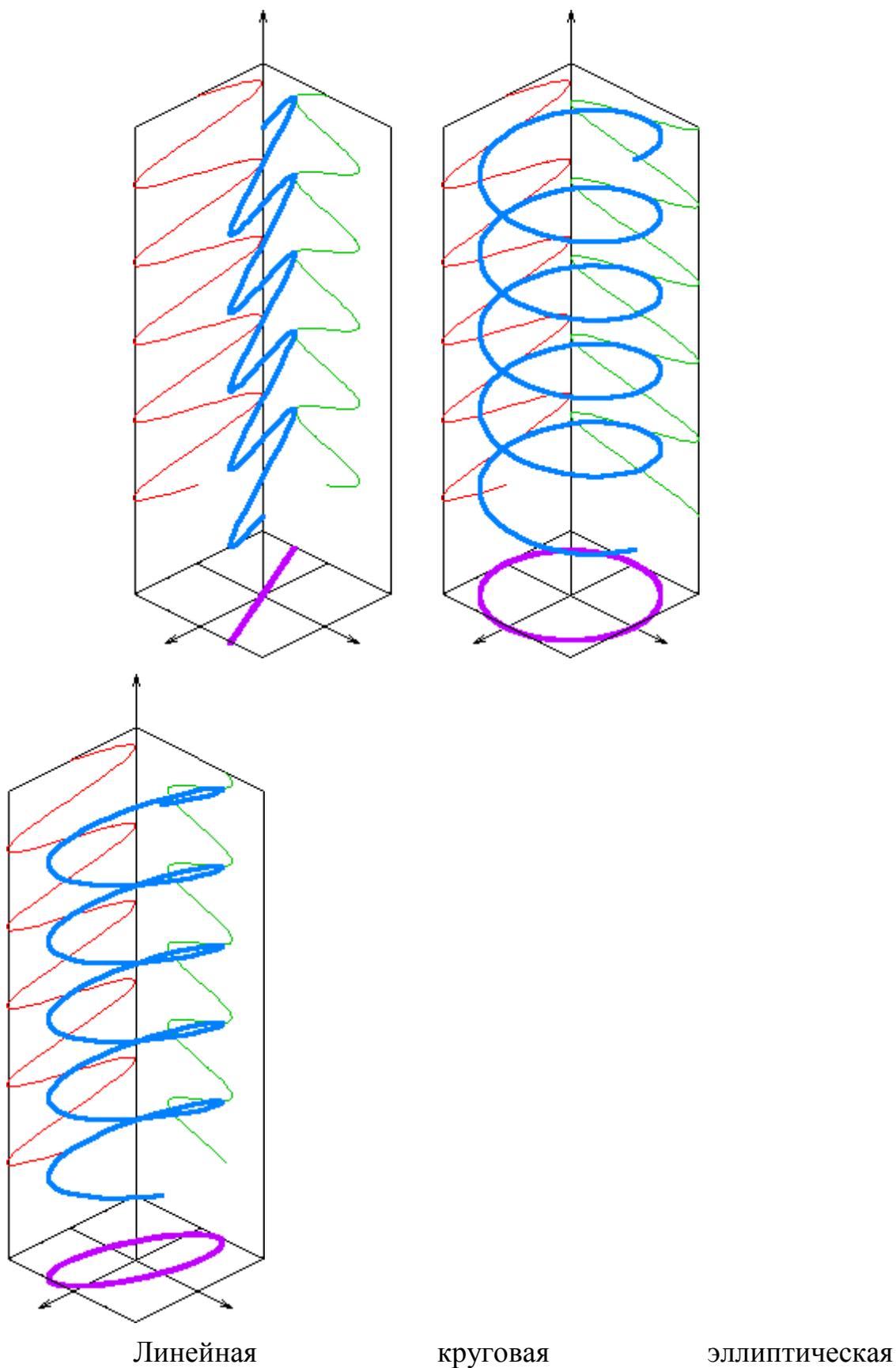


Рис. 2.5. Поляризация электромагнитных волн

Действующая длина антенны связывает напряженность электрического поля, создаваемого антенной в направлении главного излучения, с током передающей антенны. Этот параметр зависит от формы антенны, ее геометрических размеров и длины волны.

Коэффициент направленного действия (КНД) характеризует способность антенны концентрировать электромагнитное поле, излученное антенной в каком-либо направлении. КНД называется отношение квадрата напряженности поля, излучаемого антенной в данном направлении, к усредненному по всем направлениям значению квадрата напряженности поля. КНД показывает, во сколько раз нужно изменить мощность излучения, если изотропную антенну (диполь Герца) заменить на направленную антенну так, чтобы сохранялась одна и та же напряженность поля в точке приема.

Направленные свойства антенны непосредственно связаны с видом диаграммы направленности и зависит от ее типа, размеров, геометрии, а также от ее расположения в пространстве.

КНД — это отношение вектора Пойнтинга, создаваемого данной антенной, к значению вектора Пойнтинга, создаваемого изотропной антенной, в одном направлении при одинаковых расстояниях до рассматриваемой точки и при условии равенства мощностей $P_{\Sigma} = P_{\Sigma_{\text{эт}}}$.

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_{\Sigma_{\text{эт}}}}. \quad [2.3]$$

Коэффициент полезного действия (КПД). Антенна состоит из проводов, металлической поверхности и из диэлектрика. Эти проводники и диэлектрики обладают потерями.

Не вся мощность, подводимая к антенне, превращается в мощность излучения, часть энергии поглощается элементами антенны. КПД антенны — это отношение излучаемой мощности к мощности, подводимой к антенне.

Величина КПД антенны обусловлена потерями энергии в ее проводниках, а также окружающих предметах и не зависит от параметров и свойств фидера. Формула КПД имеет вид

$$\eta = \frac{P_{\Sigma}}{P_0}. \quad [2.4]$$

Еще одним параметром антенны является коэффициент усиления антенны (КУ). КУ – это отношение мощности на входе изотропной антенны, к мощности на входе рассматриваемой антенны, при условии, что обе антенны создают в данном направлении на одинаковом расстоянии равные значения напряженности поля или такой же плотности потока мощности.

Под коэффициентом усиления понимается отношение интенсивности излучения антенны в направлении главного максимума диаграммы направленности к среднему значению интенсивности излучения, соответствующему коэффициенту полезного действия $\eta=100\%$.

Для определения КУ антенны сначала нужно снять диаграмму направленности в вертикальной и в горизонтальной плоскости, затем нужно найти направление главного максимума. Он определяется произведением КНД и КПД, а формула имеет вид

$$G = D * \eta.$$

[2.5]

Приемная антенна, обладающая многолепестковой диаграммой направленностью, ориентирована главным лепестком на источник сигнала.

Однако она кроме этого направления может принимать сигналы и с других направлений, что является причиной низкой помехоустойчивости.

Если напряжённость полей, создаваемых обоими источниками сигналов в месте расположения приемной антенны, одинаковы, то

интенсивность Э.Д.С. помехи на выходе приемной антенны будет в k_3 раз меньше интенсивности Э.Д.С. принимаемого побочного сигнала.

Величина k_3 является коэффициентом защитного действия (КЗД) антенны. КЗД определяет помехозащищенность приемной антенны. КЗД выражают в децибелах и имеет вид

$$k_3 = 20 \lg \frac{E_{\max}}{E_{\text{обрат}}} ,$$

[2.6]

где E_{\max} – Э.Д.С. антенны в прямом направлении, $E_{\text{обрат}}$ – Э.Д.С. антенны в обратном направлении.

Все рассмотренные параметры являются основными, описывающими направленные свойства любой антенны [6].

2.2. Электрические свойства антенн

Любая антенна является нагрузкой для передатчика, если она работает в режиме передачи, либо для входных цепей приемника, если она работает в режиме приема. Таким образом, ее собственное сопротивление (входное сопротивление) является очень важной характеристикой, определяющей режим работы радиосистемы.

Входное сопротивление антенны является основным электрическим параметром. Оно определяется отношением напряжения высокой частоты U_A на зажимах антенны к току питания I_A . Выражение для определения входного сопротивления антенны имеет вид

$$Z_A = \frac{U_A}{I_A}. \quad [2.7]$$

Входное сопротивление антенны представляет собой импеданс, т.е. имеет комплексную величину, определяемую распределенными емкостями и индуктивностями. Причем они сильно зависят от частоты f . Поэтому выражение для входного сопротивления имеет вид

$$Z_A = R_A(f) + jX_A(f). \quad [2.8]$$

На входное сопротивление антенны оказывают влияние посторонние проводники и другие предметы, расположенные неподалеку от антенны. Часто этот параметр зависит от конструктивных особенностей антенны, от типа материала, из которого сделана антенна [7].

Входное сопротивление антенны можно измерить на определенной частоте с помощью измерительных приборов. Для измерения могут служить специальные высокочастотные измерительные мосты, антенные омметры, измерительные линии и другие приборы. Для некоторых типов антенн входное сопротивление определяется расчетным путем. Сложнее всего определить этот параметр в антеннах СВЧ диапазона. К этим антеннам энергия подводится с помощью волноводов. В волноводном тракте возникают отражения от антенны, по которым можно судить о ее входном сопротивлении. При этом коэффициент отражения определяется для каждого типа волны отдельно.

В большинстве случаев используется лишь один тип колебаний. Тогда коэффициент отражения p можно выразить через сопротивление антенны Z_A и волновое сопротивление волновода Z_0

$$p = (Z_A - Z_0)/(Z_A + Z_0). \quad [2.9]$$

Коэффициент отражения p также является величиной комплексной.

Сопротивление, выраженное в долях волнового сопротивления волновода, называется нормированным сопротивлением

$$Z_A/Z_0 = (1 + p)/(1 - p). \quad [2.10]$$

Коэффициент отражения в данной формуле определяется экспериментально с помощью соответствующих волноводных измерений. Если по волноводу распространяется несколько типов волн, то коэффициент отражения для различных типов будет иметь различные значения и тогда нормированное сопротивление антенны становится неопределенным.

Антенно-фидерная система состоит из передатчика или приемника, фидера и антенны. Фидер является линией питания, которая соединяет антенну с усилителем или с приемником. Антенно-фидерная система должна быть согласованна определенным образом с усилителем или приемником. Часть волны, излучаемой антенной, поглощается фидером, тем самым образуя стоячую волну. Согласование антенны с фидером определяется с помощью такого параметра, как коэффициент стоячей волны (КСВ) или коэффициент бегущей волны (КБВ).

КСВ характеризует степень согласования антенны и фидера, также согласование выхода передатчика и фидера. Формула КСВ имеет вид

$$КСВ = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_{отр}}{P_{пад}}}}{1 - \sqrt{\frac{P_{отр}}{P_{пад}}}}, \quad [2.11]$$

где $P_{пад}$ и $P_{отр}$ — мощности падающей и отраженной волны.

КСВ является показателем рассогласования линии, мерой, показывающей насколько отличается импеданс нагрузки линии $Z_{\text{н}}$ от его волнового сопротивления Z_0 .

Значение КСВ зависит от многих факторов:

- от отношения между волновым сопротивлением линии передачи и сопротивлением нагрузки;
- от наличия неоднородностей в линии передачи, повреждения или изгибы в малом радиусе;
- от качества разделки кабеля в разъеме линии передачи на стороне нагрузки.

Возрастание КСВ приводит к ухудшению качества работы системы, снижению эффективности передачи мощности сигнала и ее излучения в пространство.

Согласование антенны с кабелем характеризуется еще одним параметром - коэффициентом бегущей волны. КБВ является величиной, обратной величине КСВ.

При отсутствии идеального согласования антенны и кабеля имеет место наличие отраженной волны, например, от конца кабеля или другой точки, где его свойство резко меняется. В этом случае вдоль кабеля распространяются в противоположных направлениях падающая и отражающая волны.

В точках, где фазы обеих волн совпадают, суммарное напряжение максимально, а в точках, где фазы противоположны, напряжение минимальное.

КБВ равно единице, когда имеет место режим бегущей волны, то есть сигнал доходит от источника до приемника без потерь на отражение. Этого результата достичь невозможно, но необходимо максимально возможно снизить уровень отраженных волн, максимально приблизив значение КБВ к единице.

Когда КБВ равно нулю, в антенно-фидерной системе имеет место режим стоячей волны, то есть амплитуды падающей и отраженной волн равны друг другу, энергия вдоль кабеля не передается, что является наихудшем случаем.

В приемной антенне согласование фидера с приемником обеспечивает бегущую волну в фидере; согласование же антенны с нагрузкой, каковой является фидер с приемником на конце, позволяет извлечь максимальную мощность из падающей на антенну электромагнитной волны.

Подводимая мощность P_A к антенне, частично излучается, а частично поглощается бесполезно в активном сопротивлении проводников антенны, в земле и в других предметах (строения и т.д.).

Излучаемая антенной мощность P_Σ пропорциональна квадрату действующего значения тока в антенне I и будет иметь вид

$$P_\Sigma = R_\Sigma I^2. \quad [2.12]$$

R_Σ является коэффициентом пропорциональности, измеряемым в Омах, и называется сопротивлением излучения, отнесенным к току I .

Сопротивление излучения можно определить, как коэффициент, связывающий мощность излучения антенны с квадратом действующего значения тока в данной точке антенны.

Ток в разных точках антенны имеет разное значение, поэтому при определении сопротивления излучения следует оговаривать, к какому току антенны оно относится.

Сопротивление излучения антенны обычно относят либо к току в пучности, либо к току в точках подвода питания. Величина этого параметра зависит от формы антенны, ее геометрических размеров и от длины волны, на которой работает антенна.

Излучаемая антенной мощность является полезной мощностью, и соответственно сопротивление излучения антенны является полезной частью

активного сопротивления, в отличие от другой части активного сопротивления антенны, обуславливающего как потери.

Мощность потерь в антенне так же, как и мощность излучения антенны, пропорциональна квадрату тока в антенне. Формула имеет вид

$$P_{\pi} = I^2 R_{\pi}, \quad [2.13]$$

где R_{π} является эквивалентное сопротивление потерь, отнесенное к току I .

Сумма мощности излучения и мощности потерь дает полную мощность в антенне

$$P_A = P_{\Sigma} + P_{\pi}. \quad [2.14]$$

Если сопротивление излучения и потерь излучения относятся к току в точках питания антенны, то получается следующий вид

$$P_A = I_A^2 (R_{\Sigma} + R_{\pi}) = I_A^2 R_A, \quad [2.15]$$

где $R_A = R_{\Sigma} + R_{\pi}$ – это активное сопротивление антенны в точках питания.

Эффективность работы антенны оценивается с помощью параметра как КПД антенны. КПД антенны, как указывалось выше, это отношение излучаемой мощности к полной мощности, подводимой к антенне.

$$\eta = \frac{P_{\Sigma}}{P_A} = \frac{I_A^2 R_{\Sigma}}{I_A^2 R_A} = \frac{R_{\Sigma}}{R_A} = \frac{1}{1 + R_{\pi}/R_{\Sigma}}. \quad [2.16]$$

Из формулы видно, что для увеличения КПД антенны надо по возможности уменьшать сопротивление потерь по сравнению с сопротивлением излучения.

Рабочий диапазон частот – это тот диапазон, в пределах которого антенна сохраняет свои основные параметры в требуемых пределах. Требования к постоянству параметров в пределах рабочего диапазона могут быть различными в зависимости от условий использования антенны. Если ширина рабочего диапазона не превосходит нескольких процентов от средней волны диапазона, антенна называется узкополосной. Антенны с рабочим диапазоном в несколько десятков процентов и больше называются широкополосными. Также существуют антенны диапазонные и частотно-независимые.

Максимальная допустимая мощность, которая может быть подведена к антенне, ограничивается напряжением пробоя, возникающим в фидере или в самой антенне.

Большинство параметров передающих антенн будут характеризовать ту же антенну, но при использовании ее как приемной. Однако некоторые параметры при этом меняют свой смысл.

При выборе определенного типа передающей или приемной антенны необходимо учитывать их электрические и направленные свойства. Они часто определяют работу всей радиосистемы, поэтому правильное задание параметров антенн позволяет достигнуть максимальной эффективности процесса приема или передачи сигналов [6].

3. ЗАДАЧИ МИНИАТЮРИЗАЦИИ АНТЕНН

3.1 Требования к современным антеннам

Прежде чем рассматривать требования к антеннам, необходимо иметь представление о линии радиосвязи. Простейшая структурная схема линии радиосвязи приведена на рис. 3.1. Элементами этой схемы являются: радиопередатчик, фидер передающей и приемной антенны, радиоприемник и антенны.

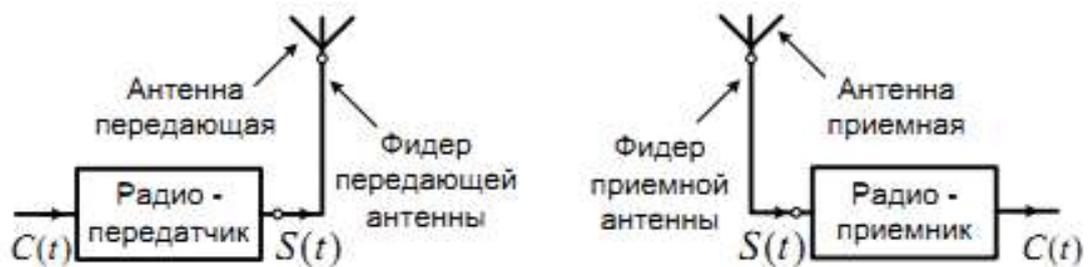


Рис. 3.1. Структурная схема линии радиосвязи

Исходный сигнал электросвязи $C(t)$ отображающий передаваемое сообщение, поступает на вход передатчика. В передатчике происходит преобразование сигнала в высокочастотный сигнал. Высокочастотный сигнал передается по фидеру к антенне, которая преобразует сигнал в электромагнитное радиоизлучение.

Малая часть энергии радиоволн, излученных передающей антенной, достигает приемной антенны и возбуждает слабый радиочастотный сигнал $S(t)$. Этот сигнал по фидеру приемной антенны подается на вход радиоприемника, где происходит обратное преобразование.

Реальный процесс приема сигнала гораздо сложнее, так как приемное устройство решает задачу выделения полезного сигнала в условиях действия помех различной природы.

Исходя из рассмотренных принципов работы линии радиосвязи, можно сформулировать общие требования, предъявляемые к фидерам и антеннам. Следуя схеме, приведенной на рис.3.1, последовательно рассматривается фидер передающей антенны, передающую антенну, приемную антенну и фидер приемной антенны [8].

Главное требование к фидеру передающей антенны – передача энергии от выхода радиопередатчика до входа антенны с минимальными потерями. Специфическое требование – фидер не должен обладать заметным антенным эффектом. Под антенным эффектом фидера передающей антенны понимают способность фидера формировать нежелательное радиоизлучение, которое может ухудшить параметры передающей антенны.

На основе вышеперечисленного можно сформировать основные требования к передающей антенне.

Первое – преобразовать электромагнитную энергию, поступающую на её вход, в энергию радиоволн с минимальными потерями.

Второе – обеспечить необходимую пространственную концентрацию излучаемой энергии, т.е. антенна должна обладать направленными

свойствами достаточными для передачи сигнала.

Третье – обеспечить совместно с радиопередатчиком в месте приема необходимое значение напряженности электромагнитного поля.

Четвертое - обеспечить заданную пространственно-временную ориентацию (поляризацию) векторов напряженности электромагнитного поля радиоволн.

При этом необходимо обратить внимание на не совсем очевидные, но, тем не менее, очень важные требования, имеющие прямое отношение, как к фидеру, так и к антенне.

Первое – фидер и антенна по отношению к радиопередатчику являются нагрузкой. Следовательно, значение этой нагрузки должно быть таким, чтобы обеспечивался эффективный режим работы радиопередатчика.

Второе - дальность действия линии радиосвязи, кроме прочих факторов, зависит и от значения излучаемой антенной мощности. В некоторых случаях мощность на входе антенны настолько велика, что возникает реальная угроза механического разрушения отдельных элементов антенны или фидера вследствие электрического пробоя или теплового перегрева. Чтобы избежать таких разрушений и фидер, и антенна должны обладать определенной электрической прочностью.

Третье – фидер и антенна должны нормально функционировать в заданном диапазоне частот или длин волн.

Наряду с требованиями технического характера, перечисленными выше, к передающим антеннам и фидерам предъявляются требования иного плана: технологичности изготовления, удобства и безопасности эксплуатации, охраны окружающей среды (экологической чистоты).

Далее рассматриваются требования к приемной антенне и фидеру. Основные требования к приемной антенне следующие. Первое – обеспечить необходимую пространственную избирательность (направленность), т.е. способность преимущественного приема радиоволн, приходящих с определенных направлений. Направленные приемные антенны, в сравнении с

ненаправленными, обеспечивают на входе приемника более высокое отношение мощности радиосигнала к мощности помех. Последнее является важнейшим условием качественного приема сигнала. Второе требование к приемной антенне – обеспечить преимущественное реагирование на радиоволны определенного вида поляризации [8].

Основные требования, предъявляемые к фидеру приемной антенны следующие. Во-первых, передача энергии между антенной и входом радиоприемника должна осуществляться с малыми потерями. Во-вторых, фидер не должен обладать заметным антенным эффектом. Под антенным эффектом фидера приемной антенны понимают его способность принимать радиосигнал, что может ухудшить параметры собственно приемной антенны. Требование на степень проявления антенного эффекта в фидерах приемных антенн более жесткое по сравнению с фидерами передающих антенн.

Необходимо учитывать, что приемная антенна по отношению к радиоприемнику выступает в роли эквивалентного генератора, нагрузкой которого служит входное сопротивление приемного фидера, подключенного к входным цепям радиоприемника. Следовательно, еще одно требование, как к приемной антенне, так и её фидеру, состоит в том, чтобы во входных цепях радиоприемника выполнялись условия выделения радиосигнала максимальной мощности.

Приемная антенна и её фидер должны обеспечивать возможность нормального функционирования линии радиосвязи в заданном диапазоне частот или длин волн.

Наряду с требованиями технического характера к приемным антеннам и фидерам предъявляются определенные требования иного плана – технологичности изготовления, защиты от грозовых разрядов, удобства и безопасности эксплуатации и др. Требования электрической прочности и экологической чистоты отсутствуют, поскольку мощность сигнала в приемной антенне и её фидере очень незначительна.

Данные требования являются основными для антенн и фидеров большинства радиосредств, используемых в радиосвязи, радиовещании и телевидении. Однако, почти каждый класс антенн и фидеров, применительно к их назначению, характеризуется ещё рядом дополнительных требований и показателей [8].

Исходя из этого можно сделать вывод, что антенна должна быть малогабаритной, помехоустойчивой, должна обладать высокой избирательностью, а также обладать низкой себестоимостью. Важно отметить, что при уменьшении габаритов антенны, ее направленные свойства должны оставаться неизменными.

3.2 Проблемы миниатюризации

В 70-е годы интерес к малогабаритным антеннам был не велик. Это направление антенной техники находилось в тени исследований в области больших антенн и фазированных антенных решеток (ФАР). Отношение к миниатюрной технике в наши дни существенно изменилось, что произошло, в основном, благодаря стремительному развитию систем телекоммуникационных и информационных технологий, появление новых носимых и компактных гаджетов, предъявляющих жесткие требования по габаритным показателям антенны [9].

В этом же направлении следует отметить бурное развитие индивидуальных систем связи, появление носимых и карманных устройств радиосвязи, многофункциональных и инновационных устройств, которые стали частью повседневной жизни. Все функциональные узлы в этих устройствах подходили под условия миниатюризации кроме антенн. При миниатюризации антенна являлась главным проблемным узлом. Так

постепенно появилась необходимость разработки и развитие миниатюрных антенн, которые обладают приемлемыми электрическими свойствами.

Реализация указанных требований к антенным устройствам, их миниатюризация и обеспечение при этом заданных электрических параметров как в теории, так и на практике представляют довольно сложную проблему.

Решение этой проблемы можно разделить на:

- исследование теоретических электрических характеристик миниатюрных антенн;
- исследование качественно новых методов разработки антенн малых габаритов.

Для первого направления главным образом, характерно, исследование физических пределов миниатюризации, т.е. размеров, при которых еще сохраняются приемлемы значения электрических параметров антенных устройств. Определение предельных характеристик малогабаритных антенных устройств неразрывно связано с изучением взаимодействия элементов антенны со средой и окружающими предметами, а также измерением и оценкой характеристик направленности данного излучателя. Также в последние годы рассматривается проблема влияния человеческого тела как физического объекта, находящегося в непосредственной близости к антенне на электрические свойства [9].

По мере уменьшения габаритов антенны уменьшается ее КПД и сужается полоса частот. Экспериментальным путем находят ограничения, а именно связь между размерами антенны и ее добротностью. Исследование соотношения между полосой частот и КУ даст возможность определить граничные параметры миниатюрной антенны. На практике получить антенну с предельными параметрами невозможно, и реальная проблема заключается в том, чтобы получить антенну с размерами, наиболее близкими к граничным при заданной полосе частот. Строгих методов миниатюризации на основе этих исследований пока не существует.

Кроме того, с уменьшением размеров антенных элементов значительно возрастает влияние свойств окружающей среды, поэтому изменяется характер использования антенн. Если вблизи антенны находятся другие физические тела, то это может привести к уменьшению её КПД и искажению диаграммы направленности. Благодаря наводимым в этих телах токам они начинают действовать как излучатели и могут в некоторых случаях использоваться с антенным элементом как единая антенна. В некоторых случаях влияние близлежащих предметов можно удачно использовать, увеличивая, например, КПД, меняя диаграмму направленности или другие параметры. Такое использование влияние окружающей обстановки является одним из способов миниатюризации антенн.

Особую проблему представляет случай, когда близлежащим объектом является человек, причем который не только влияет на характеристики антенны, но также и обратное влияние на человека вредных для здоровья электромагнитных излучений. Отрицательное влияние высокочастотных излучений на человека, которое отнюдь не ограничивается временем работы передатчика, постепенно вырастает в серьезную проблему, особенно если учитывать тот факт, что индивидуальные средства связи развиваются очень быстро. Поэтому при проектировании таких систем необходимо разрабатывать способы защиты от излучений [10].

При изучении работы антенных систем с учетом окружающей обстановки используют различные сложные модели, поэтому здесь нельзя говорить о каких-либо стандартных методах. Что же касается отрицательного действия излучения на человека, то в каждой стране существует стандарты по радиобезопасности [10].

Рассматриваемый тип антенн является наиболее распространенным на сегодняшний день в области миниатюрных антенн.

Микрополосковые антенны являются наиболее подходящими для устройств беспроводных систем передачи данных, имеющие компактные, миниатюрные размеры, встраиваемые в адаптеры беспроводной связи.

Адаптер (рис.3.2) представляет собой устройство, которое подключается через слот расширения PCI, PCMCIA, Compact Flash [11]. Существуют также адаптеры с подключением через порт USB 2.0. Wi-Fi адаптер выполняет ту же функцию, что и сетевая карта в проводной сети. Адаптер служит для подключения компьютера пользователя к беспроводной сети. Wi-Fi адаптерами снабжены ноутбуки, смартфоны и другие гаджеты, что также позволяет подключать их к беспроводным сетям.

Стандартный USB адаптер имеет соответственно малые размеры и обычно не превышает размеров стандартной USB флэш-памяти. Почти все производители держат в тайне свои изобретения, информация о конструктивных особенностях скрыта от простых пользователей либо никак не описывается. Все элементы, включая антенну, расположены на одной плате и практически все радиодетали являются SMD элементами. Антенна во многих случаях бывает микрополосковой, выполненной в печатном варианте непосредственно на плате в свободном, обычно у самого края, месте. Главный процессор управляет всеми блоками адаптера. Также в центральный микропроцессор входит АЦП/ЦАП преобразователи, радиомодуль и многое другое. Центральный микропроцессор выполняет практически все функции адаптера. Также в адаптере имеется модуль питания всех элементов. Питание происходит от USB порта персонального компьютера или ноутбука. Вблизи антенны имеется усилитель мощности, не превышающий предела в 100 мВт. Кварцевой генератор служит для осуществления стабилизации частоты и является важной частью микропроцессора. Внутренний вид схемы USB адаптера изображен на рис. 3.3.



Рис. 3.2. Wi-Fi адаптеры с микрополосковыми антеннами

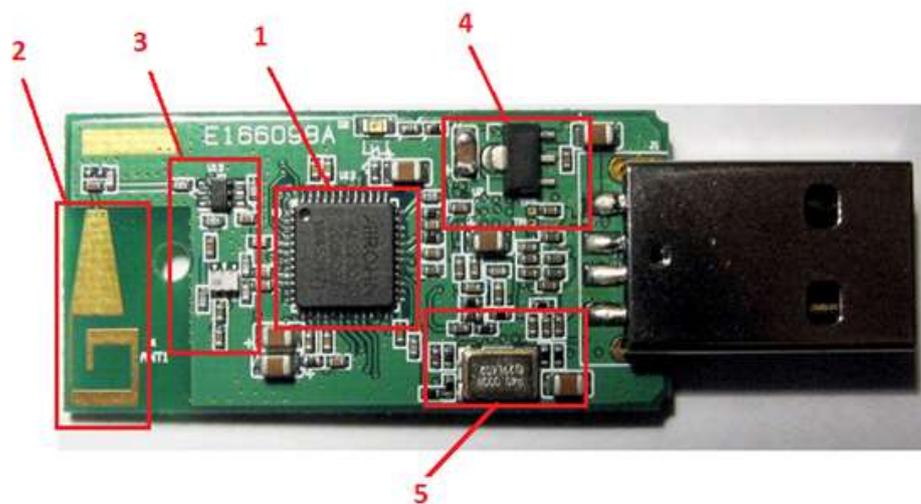


Рис. 3.3. Внутренняя схема USB адаптера: 1 - центральный микропроцессор, 2 – микрополосковая антенна, 3 – усилитель мощности, 4 – модуль питания, 5 – кварцевый генератор

Наряду с удобствами применения микрополосковых антенн в беспроводных системах передачи данных, существует ряд недостатков, которые возникают при эксплуатации этих устройств.

Беспроводные системы передачи данных и устройства вместе с удобством применения как выяснилось имеют свои недостатки. Выяснилось, что заявленная скорость передачи данных, несколько преувеличена, ведь практически половину значений от цифр «11 Мбит/с» занимает служебный трафик [12]. Оставшаяся величина также достижима лишь в идеальных

условиях: при отсутствии физических препятствий и электромагнитных помех, чего невозможно достичь в реальных условиях.

На практике для стандарта 802.11b реальная скорость передачи данных между двумя устройствами с адаптерами Wi-Fi не превышает 500 – 550 кбайт/с. – а это примерно половина от заявленных 11 Мбит/с. Полная скорость действительно близка к заявленной, но она недостаточно для пользователей она оказывается недостаточной.

Подобное обстоятельство обусловлено природой самого стандарта, радиусом действия, зависимостью от препятствий и помех. В немалой степени два параметра взаимосвязаны между собой. Производители предпочитают указывать более оптимистичные характеристики, нежели те, что наблюдается в реальных условиях. Однако впечатление на потенциального покупателя производят именно цифры на коробке, а не условия, при которых они достигаются.

Радиус действия прямой видимости Wi-Fi аппаратуры находится в пределах 100...300 метров [12], но инсталляция беспроводной сети редко выполняется в открытом пространстве без помех окружающей среды. Как уже отмечалось выше такую сеть обычно развертывают внутри здания, где нередко установлены железобетонные перекрытия с «фонящей» арматурой, имеются множество электроприборов, также оказывающих влияние на качество связи. Как уже отмечалось в таких условиях предпочтительно устанавливать дополнительные точки доступа, которые будут выполнять функцию ретранслятора сигнала основной точки. Но существует более верное решение – подключение внешних антенн. Наиболее очевидным выходом из ситуации, как, казалось бы, установить радиоаппаратуру большей мощности. Ведь что может быть проще: если мощность сигнала недостаточна, просто используем аппаратуру более высокой мощности.

Это простое техническое решение на самом деле содержит множество проблем законодательного характера. В соответствии с постановлениями Государственной комиссии по радиочастотам, которая санкционировала

использование аппаратуры, реализующей технологию расширения спектра, в полосе частот 2400...2483,5 МГц (устройств стандарта 802.11b|g) на безлицензионной основе при выполнении в том числе следующих условий: максимальная изотропно – излучаемая мощность (ЭИИМ) не может превышать значение 100 мВт [12]. В противном случае у пользователя соответствующего оборудования могут потребовать лицензию и т.д. Установка внешних антенн является самым оптимальным выходом из данной ситуации. Излучение внешних антенн влияет на здоровья человека, однако на практике мощность сигнала оказывается на порядок ниже мощности излучения обычного мобильного телефона.

Существуют несколько способов, как повысить уровень сигнала посредством конструктивной модернизации USB адаптера, а точнее модернизации его антенны или полной замены на более эффективную.

Применение зеркального отражателя

В некоторых случаях сигнал, посылаемый от базовой станции можно сконцентрировать на USB модеме, а точнее на антенне находящейся внутри данного устройства. Этот процесс происходит так: USB адаптер, подсоединенный к USB удлинителю, помещается в фокус импровизированного зеркала, сделанного в домашних условиях из листа железа, либо из фольгированного текстолита или из любого другого проводящего материала, тем самым концентрируя на себя суммарную мощность. Также имеются зеркала, изготовленные и выставленные на продажу некоторыми фирмами. Одна из таких антенн и ее диаграмма направленности приведены на рис. 3.4.

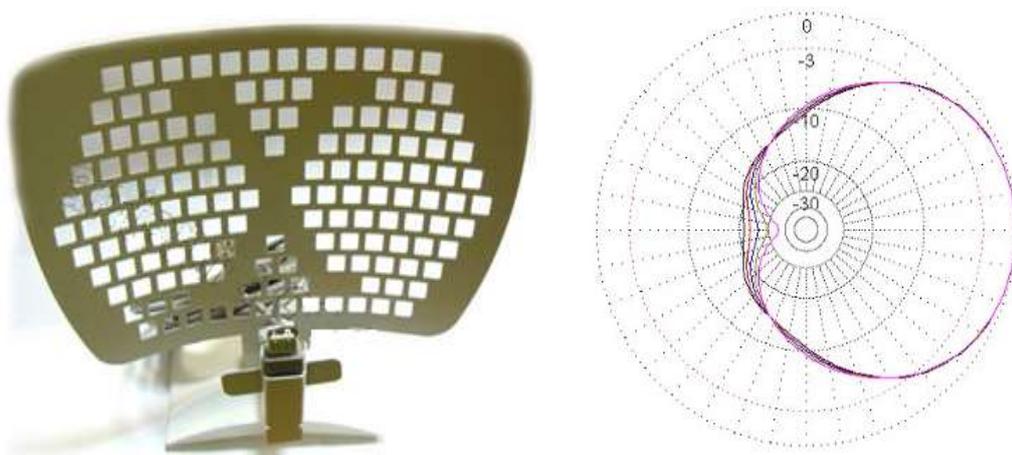


Рис. 3.4. Зеркальная антенна для USB модема и её диаграмма направленности.

Некоторые USB модемы имеют в наличии гнездо для внешней антенны, то есть пользователь может открыть крышку своего модема и через специальный коаксиальный кабель подсоединить внешнюю антенну. Некоторые USB модемы этим гнездом не обладают. В этом случае обладатели таких модемов решают проблему непосредственным конструктивным изменением адаптера, иными словами припаиванием гнезда. Одна из таких модернизаций модема изображена на рис. 3.5 - 3.9. Также через гнездо, расположенное на плате USB модема можно подключать практически любые виды антенн (вибраторные антенны, спиральные антенны, зеркальные антенны, антенны типа «волновой канал», антенные решетки, рупорные антенны и др.) сопротивлением 50 Ом.



Рис. 3.5 Разборка USB модема

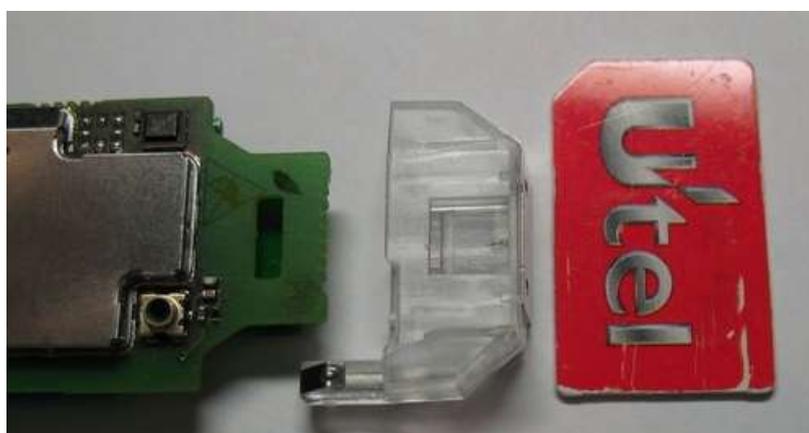


Рис. 3.6 Отсоединяется штатная микрополосковая антенна

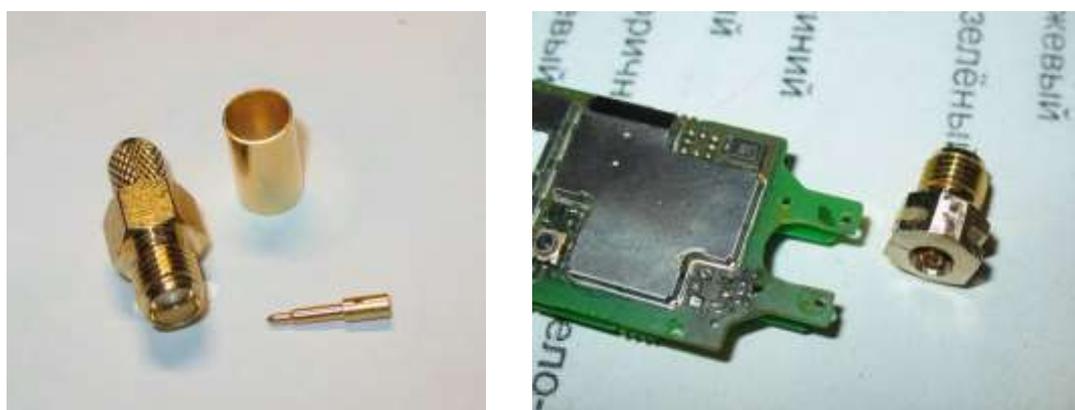


Рис. 3.7 При помощи фрезерных работ плата модема становится совместимой гнездом

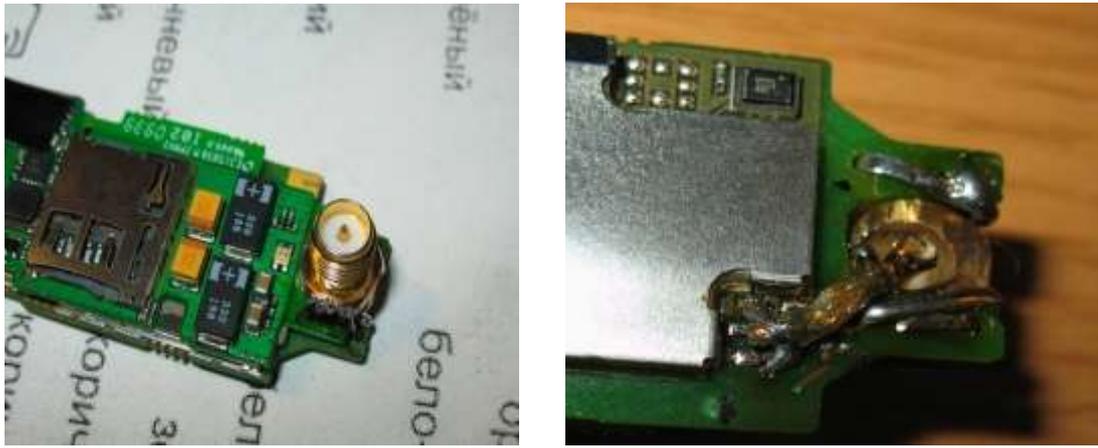


Рис. 3.8 Гнездо припаивается к выводам усилителя мощности



Рис. 3.9 Готовый USB модем с внешней коаксиальной антенной

3.3 Способы и методы уменьшения размеров антенн

По сравнению с обычной аппаратурой микрополосковые и полосковые схемы более трудоемки в разработке, поскольку связь между элементами схемы за счет краевых полей и полей излучения более сложна, отсюда

следует что, расчет многих элементов схемы производится приближенно, а подстройка готовых схем затруднена. Окончательные размеры схем приходится отрабатывать путем перебора множества вариантов.

Широкое развитие в распространении микрополосковой техники обусловлено тем, что к ее изготовлению можно применить технологию печатных плат, например, травление печатных проводников или вакуумное напыление.

Применение интегральной технологии позволяет с успехом решать задачи по созданию АФУ при весьма жестких и противоречивых требованиях к электродинамическим, аэродинамическим, габаритным, весовым, стоимостным, конструктивным и другим параметрам.

Микрополосковые антенны, изготовленные по печатной технологии интегральных схем, обеспечивают высокую повторяемость размеров, низкую стоимость, малые металлоемкость и массу.

Микрополосковые антенны способны излучать энергию с линейной, круговой и эллиптической поляризацией, допускают удобные конструктивные решения для обеспечения работы в двух или многочастотных режимах, что позволяет легко объединить многие элементарные излучатели в ФАР и разместить их на поверхностях сложной формы.

В последние годы большую актуальность приобрела задача миниатюризации печатных антенн. Это связано с интенсивным развитием техники персональных радиоэлектронных систем, функционирующих в СВЧ диапазоне: мобильных телефонов, персональных навигаторов, систем Wi-Fi и т.д. Эти системы работают на частотах 2.4...5 ГГц.

Печатная антенна (рис. 3.10) представляет собой длинную металлизированную полосу, возбуждаемую в нескольких точках с помощью ветвящейся схемы из полосковых линий. Расстояние между точками возбуждения меньше длины волны в диэлектрике подложки. При разбиении полосы на несколько частей образуется антенная решетка из прямоугольных

или квадратных элементов. Такие элементы получили широкое применение в качестве микрополосковых и печатных излучателей резонаторного типа (рис. 3.11).

Конструктивно излучатель состоит из прямоугольного ленточного проводника 1, расположенного на тонком диэлектрическом основании 2, с проводящим экраном 3. Толщина диэлектрика обычно выбирается меньше $0,1\lambda$, (λ – длина волны в свободном пространстве). Излучатель чаще всего возбуждается полосковой линией передачи 4, для которой эта система является плоским, заполненным диэлектриком - резонатором с потерями, обусловленными излучением. Края резонатора образуют две излучающие щели I и II, расстояние между которыми l приблизительно равно $\lambda/2$, где λ – длина волны в диэлектрике [13].

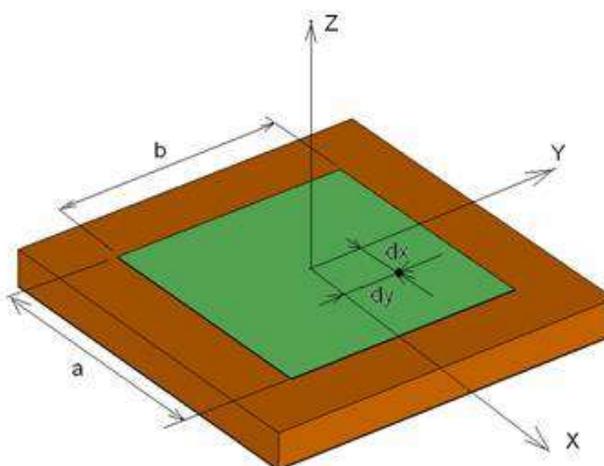


Рис. 3.10 Печатная антенна

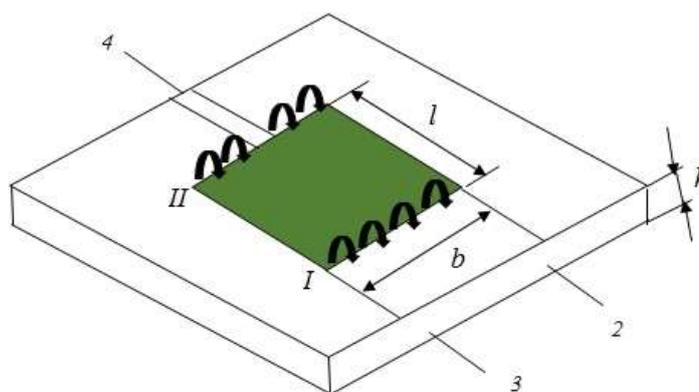


Рис.3.11 Печатный излучатель резонаторного типа

Применяя разнообразные схемы питания излучателей, можно создать антенну, работающую на нескольких достаточно близких частотах. Однако это может привести к снижению коэффициента использования эффективной поверхности эквивалентного раскрыва. Некоторого расширения рабочей полосы частот можно достичь в конструкции, изображенной на рис. 3.12.

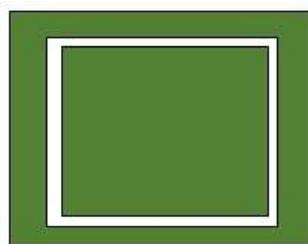


Рис.3.12 Печатный резонаторный элемент с расширенной рабочей полосой частот

Особый интерес представляют плоскостные антенны треугольной, ромбической и эллиптической формы. Наилучшими диапазонными свойствами обладает излучатель эллиптической формы, причем оптимальным оказался эллипс с эксцентриситетом, равным 0,8.

Возможен вариант возбуждения печатного излучателя 1 и с помощью коаксиального кабеля 2, подсоединенного перпендикулярно проводящей плоскости (рис. 3.13, а).

Также используется питание излучателя через элемент связи 2 вида узкой полоски, параллельной излучателю 1 (рис. 3.13, б). Питание к полоске подводится при помощи коаксиального кабеля со стороны экрана. Согласование определяется длиной элемента связи и зазором между излучателем и полоской. Возбуждение печатных излучателей с помощью коаксиальных линий представляет интерес в низкочастотной части диапазона СВЧ. Возбуждать излучатель микрополосковой линией желательно в точке,

где его входное сопротивление близко волновому сопротивлению микрополосковой линии (МПЛ). Это достигается с помощью узкого выреза (отрезка компланарной линии), параллельного оси излучателя (рис. 3.13,в) [4].

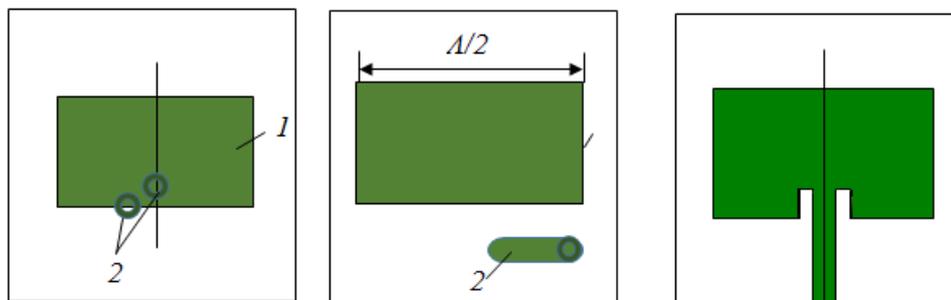


Рис.3.13 Способы питания резонаторного излучателя

При использовании в качестве излучателей круглых дисковых элементов центр излучателя соединен перемычкой с экраном, а возбуждающий зонд находится на некотором удалении от центра и питается коаксиальной линией через отверстие в экране.

Диаметр диска выбирается из условия возбуждения волны низшего типа, например, для диэлектрика с $\epsilon_2 = 2,47$ на частоте $f = 2,9$ ГГц диаметр составляет 3,78 см.

Точка питания определяется из условия согласования с питающим трактом, но следует отметить, что сопротивление антенны уменьшается при смещении этой точки к центру.

На рис. 3.14 изображен излучатель, возбуждаемый противофазно в двух входах. Полоса рабочих частот такого излучателя зависит от полосы пропускания противофазного делителя мощности. Возбуждая элемент с одного входа и нагружая на второй, можно осуществить его согласование, а также изменять диаграмму направленности.

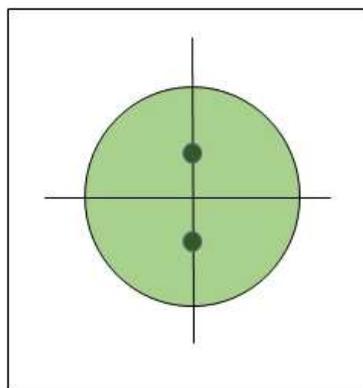


Рис. 3.14 Дискový резонаторный излучатель

При круговой поляризации излучаемой волны используют четыре точки возбуждения с определенными фазами (рис. 3.15). Круговую поляризацию можно получать, используя пятиугольный излучатель. Следует отметить что существенное значение имеет место подключение питающей линии к пятиугольному излучателю. Используя эллиптический излучатель, малая ось которого примерно равна $\lambda/2$, а эксцентриситет 0,65, можно также получить волну круговой поляризации. Вид поляризации такого излучателя зависит от места включения МПЛ.

Микрополосковые и печатные антенны могут также выполняться на основе щелевого излучателя, возбуждаемого компланарным волноводом (рис. 3.16). Они удобны для построения антенных решеток. По принципу действия щелевые излучатели, возбуждаемые МПЛ, аналогичны волноводно-щелевым антеннам [4].

К недостаткам микрополосковых и печатных излучателей можно отнести высокий уровень кросс-поляризованного излучения. Он может возникать по самым разным причинам: из-за паразитного резонанса на неоднородностях полосковых линий, излучения поверхностных волн, микрополосковых линий питания и т.д. Используя закрытые или частично экранированные линии передачи, можно несколько снизить уровень кросс-поляризованного излучения, например, располагая излучатель 1 в

плоскости одной из заземленных пластин 2 (рис. 3.17). Вдоль кромки экранного окна установлены короткозамыкающие штыри 3, соединяющие оба экрана.

Особый интерес при конструировании и расчете планарных антенн представляет выбор материала диэлектрической подложки. При этом существенными являются следующие параметры: диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери, теплопроводность, способность сохранять форму и размеры в различных климатических условиях и в процессе эксплуатации, чистота обработки поверхности, допуски на размеры по толщине, неоднородность, электропроводность. Процесс выбора материала является многофакторным, многие факторы имеют противоречивое влияние на параметры антенн, что вынуждает прибегать к компромиссным решениям. Значение определяет предельные возможности миниатюризации реализуемого устройства СВЧ. При этом необходимо произвести оценки максимально возможного отклонения значения, при котором выходные параметры устройства изменяются в допустимых пределах. Стабильность тангенса угла диэлектрических потерь также способствует воспроизводимости выходных характеристик устройства. Для уменьшения тепловых потерь и потерь на отражение необходимо выбирать диэлектрик, обработанный так, чтобы шероховатость не превышала половины глубины проникновения поля в металл.

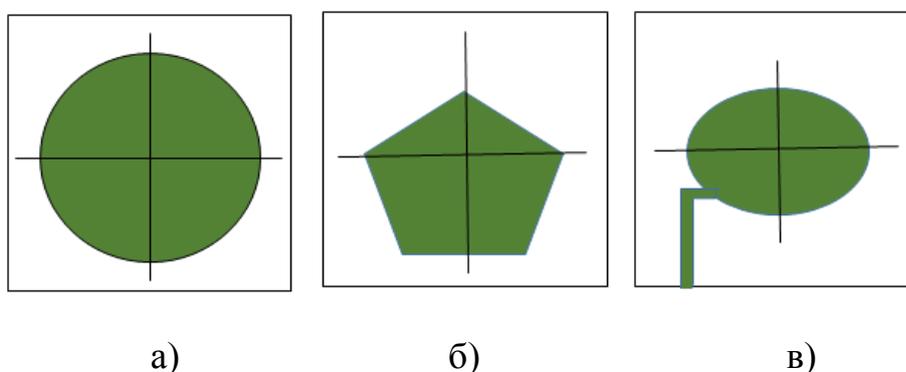


Рис.3.15 Печатные резонаторные излучатели с круговой поляризацией волн: а – круговой излучатель, б – пятиугольный излучатель,

в – эллиптический излучатель



Рис. 3.16 Щелевой излучатель

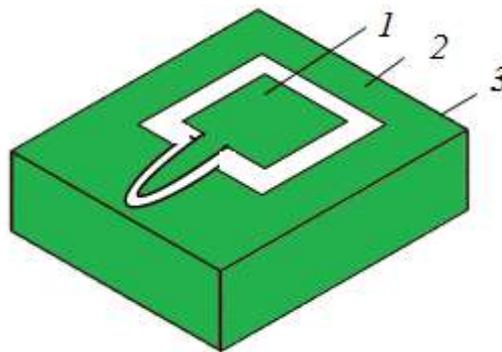


Рис. 3.17 Частично экранированный резонаторный излучатель

Несмотря на простоту конструкции, это многофункциональный элемент, который может создавать поле излучения как с линейной, так и с круговой поляризацией, а также работать на одной или двух частотах с взаимно ортогональным расположением плоскостей поляризации излучаемых волн. Теория печатных излучателей может быть построена на базе различных физических моделей.

Плоская микрополосковая антенна имеет несколько степеней свободы в своей конструкции (две координаты, а если добавить многослойность, то и 3 координаты). Это отличает её от спиральной и вибраторной антенн,

которые можно считать антеннами с одной степенью свободы, т.е. с их длиной вдоль координаты Z . Поэтому микрополосковая антенна имеет большие возможности, чем спиральная или спирально-штыревая антенны, и большие перспективы, в плане достижения тех же характеристик, но антенной с меньшими размерами. Необходимо ответить, что в формировании частотных характеристик печатная антенна принципиально использует высшие типы волн, в отличие от регулярного несимметричного и симметричного вибраторов. Обычно такая особенность уменьшает размеры, но требует точное проектирование устройств.

3.4 Вопросы компьютерного моделирования миниатюрных антенн

Особо следует отметить вопрос компьютерного моделирования микрополосковых антенн (МА). Основная часть процесса проектирования МА основана на моделировании электромагнитных явлений на компьютере, используя в качестве начальных данных результатов, полученные на основе эскизных расчетов и соображений.

При создании модели необходимо помнить, что геометрия должна соответствовать реальному положению антенны во время работы, т.е. так, чтобы, например, корпус мобильного телефона находился в вертикальном положении (или под небольшим углом). В этом случае МА находится в положении «на ребре». Такое положение отличается от наиболее часто используемого при моделировании расположения антенны в горизонтальной плоскости XY , реализованный в программе «HP Momentum» и IE3D (фирма Zeland).

Один из методов моделирования предполагает описание конструкции антенны в виде многослойной планарной конструкции. Слои, там, где это необходимо, соединяется с помощью металлических перемычек.

Токи в этих перемычках имеют только вертикальную составляющую по оси Z. Программа решает систему уравнений, составленную на основании непрерывности полей на границах слоев для элементарных металлических форм, на которую разбивается вся металлическая форма плоской антенны,

На рис. 3.18 приведен пример расчета микрополосковой patch антенны этим методом в программе Microwave Office (MWO). Программа MWO проста в использовании, но имеет, к сожалению, ограниченные возможности для проектирования сотового телефона в корпусе.

Другим примером коммерческой программы является часть пакета HP ADS, программа HP Momentum. В этой программе имеются более широкие возможности для моделирования сотового телефона.

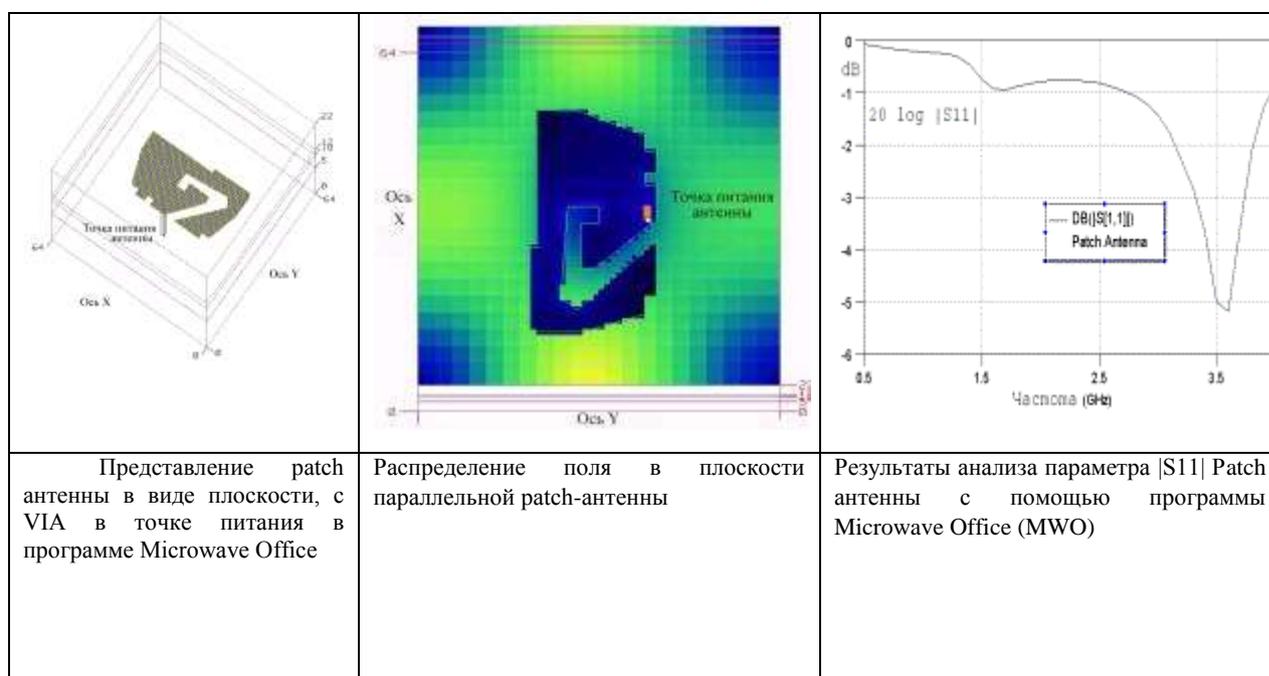


Рис. 3.18. Моделирование микрополосковой патч антенны в программе MWO

Данная программа все анализируемое пространство вокруг антенны разбивается на конечные элементы, в соответствии с ожидаемой скоростью изменения поля. В результате формируется набор неизвестных (значения поля) на гранях конечных элементов, составляется система уравнений, которая решается в частотной области. Пример моделирования антенны показан на рис. 3.19.

Еще одна программа моделирования микрополосковых антенн – HFSS, программа, которая рассчитывает излучающие СВЧ конструкции в трехмерном представлении. Эта программа совмещена с AutoCAD, поэтому рисование конструкции антенны в ней аналогично черчению объектов в среде AutoCAD. HFSS программа предназначена для решения задачи излучения в сотовом телефоне. Недостатком ее является то, что она требует задания бесконечной земляной платы, поэтому для корпусных трубок рассчитанная диаграмма направленности имеет идеализированную форму в верхней полусфере.

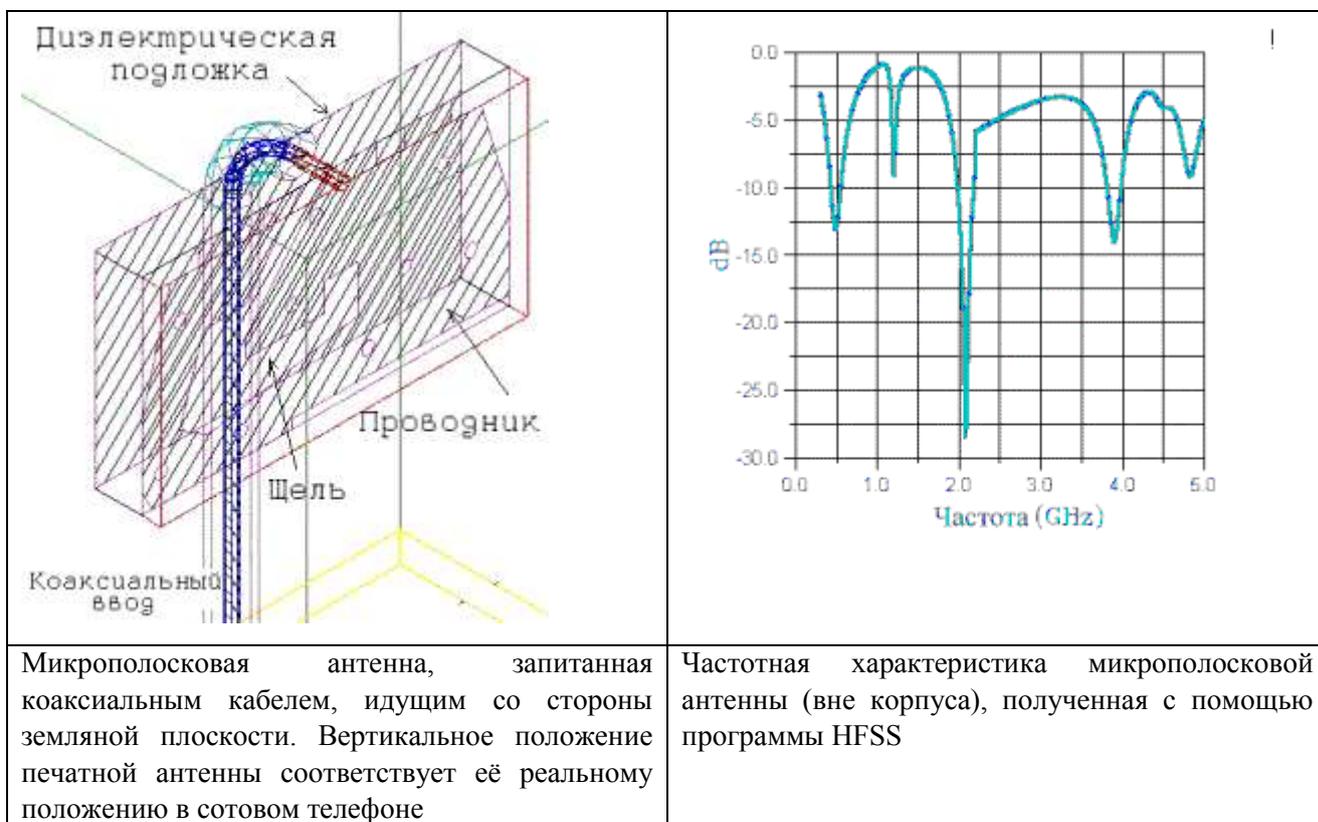


Рис. 3.19. Моделирование микрополосковой антенны методом конечных элементов

Некоторые современные программы содержат в своем функционале частные опции, предназначенные для решения довольно узких прикладных задач.

Для решения задачи поглощения электромагнитной энергии в теле пользователя была разработана программа под названием FIDELITY от фирмы Zeland. Данная программа для расчета использует систему интегральных уравнений Максвелла во временной области.

Для исследуемой структуры (рис. 3.20) рассчитывается переходной процесс, возникающий при подаче на ее вход высокочастотного сигнала специальной формы. Программа анализирует переходные процессы в антенне, а затем рассчитывает ее частотную характеристику. При этом данная программа рассчитывает переходной процесс в реальной трехмерной конструкции. При этом она требует предельных компьютерных возможностей [14].

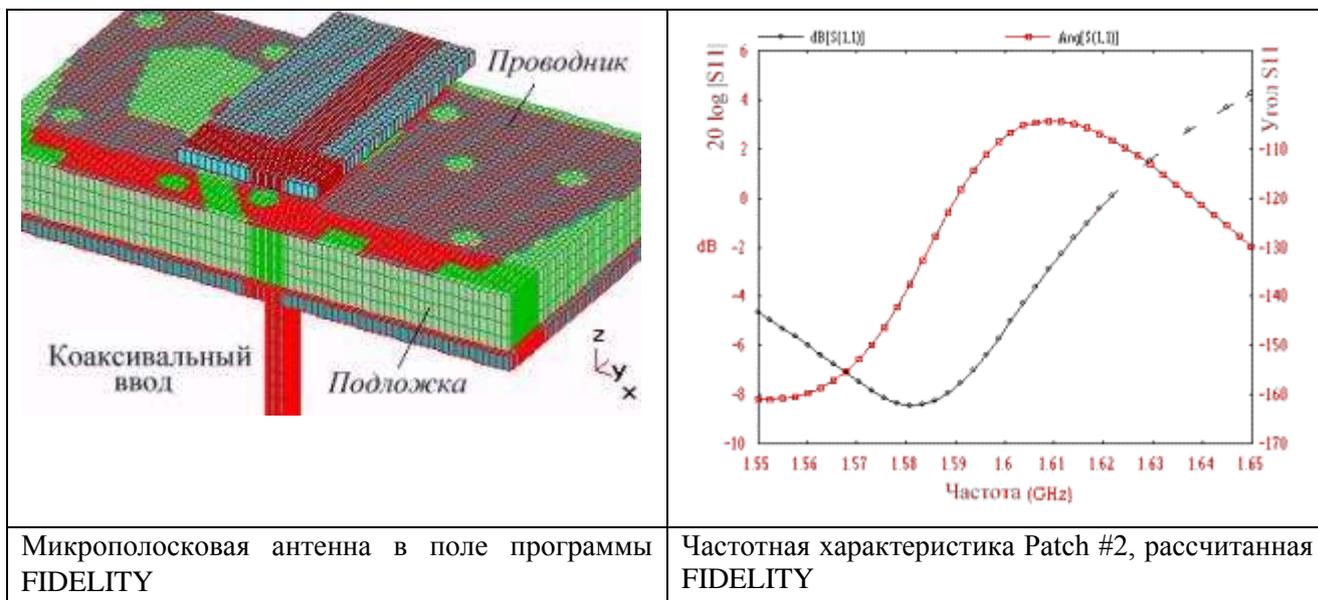


Рис. 3.20. Моделирование микрополосковой антенны в программе FIDELITY.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой главе были рассмотрены приемные и передающие антенны, используемые в телевещании, а также антенны беспроводных систем передачи данных. Были описаны их достоинства и недостатки. Также в этой главе были описаны технические характеристики этих антенн. Приведены примеры конструкции при организации беспроводного точка доступа.

Во второй главе были рассмотрены направленные и электрические свойства антенн. Также были рассмотрены виды диаграмм направленности. Исходя из этого можно сделать вывод что электрические свойства антенны взаимосвязаны с направленными характеристиками антенны. При конструкции антенны, эти взаимосвязанные параметры играют главную роль при получении необходимой, оптимальную антенну.

В третьей главе были рассмотрены проблемы миниатюризации антенн. В качестве примера миниатюрных антенн, были рассмотрены микрополосковые антенны. Так как эти антенны широко используются в беспроводных системах передачи данных. Также были представлены методы улучшения конструктивных особенностей антенн USB модемов для улучшения их работ.

В четвертой главе были описаны влияние оборудование на окружающую среду, взаимодействие человека с техносферой и оценка экологического риска.

